



TESIS – MO142528

**STUDI FORMULA TEGANGAN GESER DASAR DAN
TRANSPORTASI SEDIMEN DASAR (*BED LOAD
SEDIMENT TRANSPORT*) UNTUK PEMODELAN
MORFOLOGI DASAR LAUT
(STUDI KASUS : AREA KANAL PLTGU GRATI)**

**MADE MUSTIKA WIJAYA
4114205013**

**DOSEN PEMBIMBING
Suntoyo ST., M. Eng., Ph.D.
Dr. Kriyo Sambodho, ST, M.Eng**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK MANAJEMEN PANTAI
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



THESIS – MO142528

**STUDY ON BOTTOM SHEAR STRESS AND BED
LOAD SEDIMENT TRANSPORT FORMULA FOR
MODELLING OF SEA BED MORPHOLOGY
(AREA OF STUDY IN CANAL PLTGU GRATI)**

**MADE MUSTIKA WIJAYA
4114205013**

**SUPERVISOR
Suntoyo ST., M. Eng., Ph.D.
Dr. Kriyo Sambodho, ST, M.Eng**

**MAGISTER PROGRAM
COASTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “Studi Formula Tegangan Geser Dasar Dan Transportasi Sedimen Dasar (*Bed Load Sediment Transport*) Untuk Pemodelan Morfologi Dasar Laut (Studi Kasus : Area Kanal PLTGU Grati)”. Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Magister (S-2) di Prodi Teknik dan Manajemen Pantai, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Dalam pembuatan Tesis ini, saya telah berusaha semaksimal mungkin. Namun saya menyadari bahwa pembuatan Tesis ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, saya mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan Tesis ini.

Surabaya, 22 Januari 2016

Penyusun

Made Mustika Wijaya

(Halaman sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tesis ini, saya sangat bersyukur telah mendapatkan banyak bantuan, dari berbagai pihak, baik itu bantuan secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu dalam kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

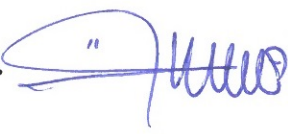





1. Ida Sang Hyang Widhi Wasa yang telah memberikan berkah,rahmat dan kelancaran dalam pengerjaan tesis ini
2. Orang tua dan kakak saya, Drs. I Wayan Winata dan Ni Ketut Masrini serta Putu Mira Winantari yang telah memberikan dorongan moral
3. Suntoyo, S.T., M.Eng.,Ph.D dan Dr.Kriyo Sambodho, ST,M.Eng sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan nasihatnya selama ini
4. Seluruh dosen penguji sidang Magister Teknik dan Manajemen Pantai yang telah memberikan arahan dan perbaikan dalam penulisan tesis ini
5. Teman-teman Megalodon L-28 P-50 dan Pascasarjana yang telah membantu memberikan motivasi dan meluangkan waktunya untuk membantu saya
6. Dan pihak lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:
Made Mustika Wijaya
NRP.4114205013

Tanggal Ujian : 22 Januari 2016
Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh :

1. **Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.**  **(Pembimbing I)**
NIP : 197107231995121001
2. **Dr. Kriyo Sambodho, ST., M.Eng**  **(Pembimbing II)**
NIP : 197401271999031002
3. **Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.**  **(Penguji)**
NIP : 19690420 199403 1 003
4. **Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., Ph.D.**  **(Penguji)**
NIP : 196108051989101001
5. **Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc**  **(Penguji)**
NIP : 19601214 198903 1 001
6. **Haryo Dwito A., ST., M. Eng., Ph.D.**  **(Penguji)**
NIP : 196808101995121001



Direktur Program Pascasarjana,

Nama : Prof. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

**STUDI FORMULA TEGANGAN GESER DASAR DAN TRANSPORTASI
SEDIMEN DASAR (*BED LOAD SEDIMENT TRANSPORT*) UNTUK
PEMODELAN MORFOLOGI DASAR LAUT
(STUDI KASUS : AREA KANAL PLTGU GRATI)**

Nama Mahasiswa	: Made Mustika Wijaya
ID Mahasiswa	: 4114205013
Pembimbing	: Suntoyo, S.T., M.Eng.,Ph.D
Co-Pembimbing	: Dr. Kriyo Sambodho, ST, M.Eng

ABSTRAK

Studi tentang formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar telah mengalami perkembangan dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian tentang formula ini telah banyak dilakukan dalam berbagai kondisi dan diperbarui oleh para peneliti sebelumnya. Dari penelitian yang dilakukan, pengujian formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar masih terbatas dari hasil eksperimen dan jarang digunakan untuk kondisi nyata. Dalam thesis ini, penerapan formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akan digunakan untuk mengetahui perubahan morfologi dasar laut di area PLTGU Grati,Pasuruan. Hasil dari formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akan dibandingkan dengan hasil model numerik menggunakan software MIKE 21. Dari hasil perhitungan dan model numerik,diketahui bahwa formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar memberikan hasil yang signifikan dengan simulasi model dengan nilai RMSE mendekati 0.00 pada beberapa titik yang dianalisa. Melalui penerapan formula ini nantinya akan dapat mempercepat proses perhitungan prediksi perubahan morfologi dasar laut dibandingkan menggunakan simulasi model numerik yang membutuhkan waktu yang lama dan perangkat komputer yang mahal.

Kata kunci: Tegangan Geser Dasar, Transportasi sedimen dasar, morfologi dasar laut

(Halaman sengaja dikosongkan)

**STUDY ON BOTTOM SHEAR STRESS AND BED LOAD SEDIMENT
TRANSPORT FORMULA FOR MODELLING OF SEA BED
MORPHOLOGY**

(AREA OF STUDY IN CANAL PLTGU GRATI)

Student Name : Made Mustika Wijaya
Student ID : 4114205013
Supervisor : Suntoyo, S.T., M.Eng.,Ph.D
Co-Supervisor : Dr. Kriyo Sambodho, ST, M.Eng

ABSTRACT

Study on the bottom shear stress and bed load sediment transport formula has been progressed for several years. Research about this formula has been applied in various conditions and updated by the other researchers. However, many researchers only tested the formula based on experimental study and still rarely used in field condition. In this study, the bottom shear stress and bed load sediment transport formula is used for determining the morphological change in the area PLTGU Grati, Pasuruan. The results from bottom shear stress and bed load sediment transport formula will be compared with the results from numerical models using MIKE 21 software. From the calculation, it can be concluded that the bottom shear stress and bed load sediment transport formula have a good agreement from the results using MIKE 21 models with RMSE is 0.00 on several observation area. The application of this formula in real condition will be able to speed up the process of prediction of morphological changes compared by using numerical simulation models that take a long time and also need expensive computer equipment .

Key word: Bottom Shear Stress, Bed Load Sedimen Transport, Sea bed morphology

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Lokasi Penelitian	3
1.6. Batasan Masalah	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1.Kajian Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori	6
2.2.1. MIKE 21 DHI Software	6
2.2.2. Kalibrasi Model	9
2.2.3. Angin	10
2.2.4. Pasang Surut	10
2.2.5. Gelombang	12
2.2.6. Tegangan Geser Dasar.....	14
2.2.7. Parameter Shield.....	16
2.2.8. Transportasi Sedimen	17
2.2.9. Transportasi Sedimen Dasar (<i>Bedload sediment transport</i>).....	18
2.2.10 Perubahan Morfologi Dasar Laut	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian	21
3.2. Prosedur Penelitian	23

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemodelan MIKE 21	25
4.1.1. Tahap Persiapan	25
4.1.1.1 Kompilasi Data	25
4.1.1.2 Penyusunan Mesh dan Batimetri Model.....	27
4.1.1.3 Waktu Simulasi	29
4.1.1.4 Syarat Batas(<i>Boundary Condition</i>).....	29
4.1.2. Simulasi Pemodelan	30
4.1.2.1.Kalibrasi Pasang Surut	30
4.1.2.2.Kalibrasi Kecepatan Arus.....	31
4.1.2.3.Model hidrodinamika	35
4.1.2.4.Model Sand Transport	41
4.2. Analisa Tegangan Geser Dasar	46
4.2.1. Perbandingan U <i>Velocity</i> di Sekitar Kanal	47
4.2.2. Perhitungan Terhadap Tegangan Geser Dasar	51
4.2.3. Pengaruh Arus dan Gelombang Terhadap Tegangan Geser Dasar	53
4.3. Analisa Transportasi Sedimen Dasar Dan Morfologi Dasar Laut ...	63
4.3.1. Perbandingan Hasil Transportasi Sedimen	64
4.3.2. Pengaruh Arus dan Gelombang Terhadap Morfologi Dasar	70
4.3.3. Volume Sedimen Akibat Arus dan Gelombang	73

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen pasang surut.....	11
Tabel 4.1 Data-data untuk pemodelan MIKE 21	26
Tabel 4.2 Hasil Kalibrasi pasang surut di area PLTU Grati	30
Tabel 4.3 Hasil Kalibrasi kecepatan arus di sekitar area PLTU Grati	32
Tabel 4.4 Hasil Tegangan Geser Dasar Maksimum dan Minimum di area kanal PLTU Grati.....	62
Tabel 4.5 Hasil rata-rata transportasi sedimen dasar di area kanal PLTU Grati.....	68
Tabel 4.6 Hasil validasi transportasi sedimen dasar dengan metode RMSE (Root Mean Square Error) dasar di area kanal PLTU Grati.....	69
Tabel 4.7 Perbandingan volume sedimen di area kanal PLTU Grati.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi penelitian di kawasan PLTGU Grati	3
Gambar 2.1 Pengaruh Posisi Bulan Bumi dan Matahari pada Pasang Surut	12
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan Tesis	21
Gambar 4.1 Input model time series di MIKE 21	26
Gambar 4.2 Tampilan Batimetri PLTU Grati	27
Gambar 4.3 Tampilan mesh batimetri PLTU Grati	28
Gambar 4.4 Hasil interpolasi Meshing batimetri PLTU Grati.....	28
Gambar 4.5 Syarat Batas Model MIKE 21 PLTU Grati.....	29
Gambar 4.6 Hasil kalibrasi pasang surut pengukuran dan model MIKE 21.	31
Gambar 4.7 Hasil kalibrasi pasang surut dari DISHIDROS dan model MIKE 21	31
Gambar 4.8 Titik pengambilan sampel kecepatan arus di PLTGU Grati	32
Gambar 4.9 Hasil kalibrasi kecepatan arus di utara kanal PLTU Grati.....	33
Gambar 4.10 Hasil kalibrasi arus di tengah kanal PLTU Grati	33
Gambar 4.11 Hasil kalibrasi arus di barat kanal PLTU Grati.....	34
Gambar 4.12 Hasil kalibrasi arus di timur kanal PLTU Grati	34
Gambar 4.13 Pemodelan muka air laut pada saat menuju pasang di area PLTU Grati	36
Gambar 4.14 Pemodelan muka air laut pada saat pasang tertinggi di area PLTU Grati	36
Gambar 4.15 Pemodelan muka air laut pada saat menuju surut di area PLTU Grati	37
Gambar 4.16 Pemodelan muka air laut pada saat surut terendah di area PLTU Grati	37
Gambar 4.17 Pemodelan kecepatan arus pada saat menuju pasang di area PLTU Grati	38

Gambar 4.18 Pemodelan kecepatan arus pada saat pasang tertinggi di area PLTU Grati	39
Gambar 4.19 Pemodelan kecepatan arus pada saat menuju surut di area PLTU Grati	39
Gambar 4.20 Pemodelan kecepatan arus pada saat surut terendah di area PLTU Grati	40
Gambar 4.21 Diagram mawar angin selama 1 tahun di area PLTU Grati.....	41
Gambar 4.22 Pemodelan bed level pada saat menuju pasang di area PLTU Grati	42
Gambar 4.23 Pemodelan bed level pada saat pasang tertinggi di area PLTU Grati	42
Gambar 4.24 Pemodelan bed level pada saat menuju surut di area PLTU Grati	43
Gambar 4.25 Pemodelan bed level pada saat surut terendah di area PLTU Grati	43
Gambar 4.26 Pemodelan bed leve Change pada saat menuju pasang di area PLTU Grati	44
Gambar 4.27 Pemodelan bed leve Change pada saat pasang tertinggi di area PLTGU Grati	44
Gambar 4.28 Pemodelan bed leve Change pada saat menuju surut di area PLTU Grati	45
Gambar 4.29 Pemodelan bed leve Change pada saat surut terendah di area PLTU Grati	45
Gambar 4.30 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 15 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati	47
Gambar 4.31 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 1 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati	47
Gambar 4.32 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 15 hari di tengah kanal PLTU Grati	48

Gambar 4.33 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 1 hari di tengah kanal PLTU Grati.....	48
Gambar 4.34 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 15 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati	49
Gambar 4.35 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 1 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati	49
Gambar 4.36 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 15 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati.....	50
Gambar 4.37 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 1 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati.....	50
Gambar 4.38 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di tengah kanal PLTU Grati	53
Gambar 4.39 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di tengah kanal PLTU Grati	54
Gambar 4.40 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati.....	54
Gambar 4.41 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati.....	55
Gambar 4.42 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati.....	55
Gambar 4.43 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati.....	56
Gambar 4.44 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati	56
Gambar 4.45 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah timur PLTU Grati.....	57
Gambar 4.46 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di tengah kanal PLTU Grati	58
Gambar 4.47 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di tengah kanal PLTU Grati	58

Gambar 4.48 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati	59
Gambar 4.49 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati	59
Gambar 4.50 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah timur PLTU Grati	60
Gambar 4.51 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati.....	60
Gambar 4.52 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di barat kanal PLTU Grati	61
Gambar 4.53 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati	61
Gambar 4.54 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 15 hari di tengah kanal PLTU Grati.....	64
Gambar 4.55 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 1 hari di tengah kanal PLTU Grati.....	65
Gambar 4.56 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 15 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati	65
Gambar 4.57 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 1 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati	66
Gambar 4.58 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 15 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati.....	66
Gambar 4.59 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 1 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati.....	67
Gambar 4.60 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 15 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati	67
Gambar 4.61 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 1 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati	68

Gambar 4.62 Hasil perubahan morfologi dasar pada 8 titik di area tengah kanal PLTU Grati	71
Gambar 4.63 Hasil perubahan morfologi dasar pada 8 titik di area utara kanal PLTU Grati.....	71
Gambar 4.64 Hasil perubahan morfologi dasar pada 8 titik di area timur kanal PLTU Grati.....	72
Gambar 4.65 Hasil perubahan morfologi dasar pada 8 titik di area barat kanal PLTU Grati.....	72

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Penelitian tentang transportasi sedimen sangat penting dalam perkembangan pengetahuan teknik pantai, karena berhubungan dengan proses sedimentasi, erosi, hingga perubahan morfologi dasar. Transportasi sedimen dasar sangat dipengaruhi oleh tegangan geser dasar dan tingkat kekasaran dasar di daerah tersebut (Suntoyo dan Tanaka, 2009). Prediksi formula tegangan dasar merupakan titik awal dalam perumusan laju transportasi sedimen. Kajian tentang formula tegangan geser dasar sudah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti melalui eksperimen di laboratorium. Tanaka (1998) dalam penelitiannya memprediksi tegangan geser akibat pergerakan gelombang nonlinear dan mengusulkan formula untuk memprediksi transportasi gelombang diluar *surf zone*.

Dalam studi lebih lanjut, perkembangan estimasi tegangan geser dasar telah mengalami perkembangan. Kombinasi parameter berdasarkan kecepatan dan percepatan telah digunakan dalam berbagai tipe gelombang. Suntoyo dkk (2008) telah melakukan kajian tentang karakteristik lapis batas turbulen dibawah pergerakan gelombang *saw-tooth* diatas permukaan dasar kasar melalui percobaan di laboratorium. Kesesuaian yang baik antara data percobaan dan hasil numerik untuk distribusi kecepatan rata-rata dan tegangan geser dasar untuk jenis gelombang ini telah diperoleh, sehingga dapat digunakan dalam perhitungan *bed load sediment transport*.

Dari beberapa usulan formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar, masih jarang yang menerapkan formula tersebut untuk kondisi lapangan. Pengumpulan data lapangan yang sesuai dengan parameter input dalam perhitungan menjadi salah satu kendala, sehingga penerapan formula masih jarang digunakan. Dari permasalahan ini kemudian banyak dilakukan penelitian dengan membandingkan data lapangan, seperti yang dilakukan oleh Bayram dkk (2001) yang mencoba membandingkan hasil perhitungan dari distribusi transportasi sedimen sepanjang pantai dengan data pengukuran (*survey*). Alternatif lain untuk menginterpretasikan kondisi lapangan maka digunakan pemodelan numerik.

Banyak peneliti sudah melakukan pemodelan dengan model numerik untuk mensimulasikan kondisi lapangan. Sravanti dkk (2015) telah melakukan kajian untuk menghitung transportasi sedimen sepanjang Pantai Kerala menggunakan *software* MIKE 21. Data konsentrasi sedimen didapatkan dari data satelit, namun dalam perhitungan laju sedimen penerapan teori tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar masih belum digunakan untuk menguji keakuratan hasil simulasi.

Dalam tesis ini akan mengkaji penerapan formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar dengan data hasil pemodelan numerik menggunakan *software* MIKE 21. Diharapkan melalui analisa ini, penerapan formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar tidak hanya terbatas dalam eksperimen laboratorium saja, sehingga dapat digunakan dalam kasus di lapangan. Lebih lanjut formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen ini juga dapat digunakan untuk memprediksi perubahan morfologi dasar laut, baik itu akibat arus atau gelombang.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi hidrodinamika di area kanal PLTGU Grati ?
2. Bagaimana pengaruh tegangan geser dasar akibat arus atau kombinasi arus dan gelombang di area kanal PLTGU Grati ?
3. Bagaimana penerapan formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar untuk mengetahui perubahan morfologi dasar laut akibat arus atau kombinasi arus dan gelombang ?

1.3. Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi hidrodinamika di area kanal PLTGU Grati melalui pemodelan MIKE 21 untuk analisa transportasi sedimen
2. Mengetahui pengaruh tegangan geser dasar akibat arus atau kombinasi arus dan gelombang di area kanal PLTGU Grati

3. Mengetahui penerapan formula tegangan geser dasar dan transportasi dasar untuk mengetahui perubahan morfologi dasar laut akibat arus atau kombinasi arus dan gelombang

1.4. Manfaat

1. Dapat memprediksi arah arus dan pola aliran sedimen dari kondisi hidrodinamika sehingga dapat mengantisipasi sedimen yang masuk di area kanal PLTGU Grati
2. Untuk mengetahui karakteristik dari tegangan geser akibat arus atau gelombang, sehingga dapat memprediksi transportasi sedimen dasar yang terjadi.
3. Melalui penerapan formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar dapat mempercepat proses perhitungan prediksi perubahan morfologi dasar laut sehingga dapat merencanakan tindakan jangka panjang untuk mengantisipasi masalah sedimentasi

1.5. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam tesis ini berada di kawasan PLTGU GRATI Pasuruan. Secara geografis lokasi daerah studi terletak pada koordinat $113^{\circ} 00' 35.5''$ sd $113^{\circ} 02' 06.2''$ BT, dan $7^{\circ} 39' 10.6''$ s/d $07^{\circ} 39' 11.6''$ LS seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1.1 Lokasi penelitian di kawasan PLTGU Grati

(Sumber: <https://www.google.co.id/maps/place/Grati,+Pasuruan,+Jawa+Timur/>)

1.6. Batasan Masalah

1. Pemodelan menggunakan software MIKE 21 dan terdiri dari modul Hidrodinamic (HD), Spectral Wave (SW) dan Sand Transport (ST)
2. Formula transportasi sedimen dasar yang digunakan berdasarkan Metode Suntoyo dan Tanaka (2009)
3. Kalibrasi model yang dilakukan menggunakan data pasang surut dan kecepatan arus hasil pengukuran

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang laju angkutan sedimen telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir, Fredsoe dan Deigaard (1992) yang mengkaji laju transportasi sedimen untuk gelombang sinusoidal, dalam penelitiannya menyatakan bahwa laju transportasi sedimen bersih dalam satu periode gelombang adalah nol. Namun, kenyataannya di lapangan gelombang di laut tidak memiliki kesimetrisan dan keteraturan seperti gelombang sinusoidal. Ketidaklinearan gelombang ini sangat berpengaruh dalam perubahan laju angkutan sedimen, baik itu sedimen dasar maupun sedimen melayang. Hal yang sangat berpengaruh terutama berhubungan dengan nilai tegangan geser dasar dan kecepatan di dasar laut.

Banyak peneliti yang mencoba untuk menganalisa dan memprediksi nilai dari tegangan geser dasar. Tanaka (1998) dalam penelitiannya tentang prediksi tegangan geser akibat pergerakan gelombang nonlinear, mengusulkan formula untuk memprediksi transportasi gelombang diluar *surf zone*, dimana efek percepatan memegang peranan penting. Hal yang sama juga dilakukan Watanabe dan sato (2004) yang meneliti metode baru untuk menghitung tegangan geser dasar yang diaplikasikan untuk model dari total angkutan sedimen dalam kondisi aliran tertentu. Selain itu Suntoyo dan Tanaka (2009) juga menyelidiki efek kekasaran pada tegangan geser dan pengaruhnya terhadap laju angkutan sedimen untuk gelombang asimetris.

Berdasarkan beberapa penelitian, masih jarang yang menerapkan formula tersebut untuk kondisi lapangan seperti yang coba dilakukan oleh Bayram dkk (2001) yang mencoba membandingkan hasil perhitungan dari distribusi transportasi sedimen sepanjang pantai dengan data pengukuran (*survey*). Pengumpulan data lapangan yang sesuai dengan parameter input dalam perhitungan menjadi salah satu kendala sehingga penerapan formula yang diusulkan masih jarang digunakan. Zhang dkk (2007) dalam jurnalnya mencoba untuk mengkombinasikan model numerik dan fisik untuk memodelkan kondisi pantai, namun model ini mempunyai keterbatasan karena tidak semua parameter

dapat disimulasikan. Lebih lanjut, Sravanti dkk (2015) telah melakukan kajian untuk menghitung transportasi sedimen sepanjang Pantai Kerala menggunakan MIKE 21 Model. Data konsentrasi sedimen didapatkan dari data satelit, tetapi dalam perhitungan transportasi sedimen penerapan teori tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar masih belum digunakan untuk menguji keakuratan hasil simulasi. Penerapan formula tegangan geser dan transportasi sedimen dalam sebuah model morfologi dasar laut akibat transportasi sedimen menjadi suatu hal baru yang patut diuji hasilnya, sehingga dapat digunakan secara praktis di lapangan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 MIKE 21 DHI Software

MIKE 21 adalah suatu perangkat lunak rekayasa profesional yang berisi sistem pemodelan yang komprehensif untuk program komputer untuk 2D *free-surface flows*. MIKE 21 dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena terkait di sungai, danau, estuari, teluk, pantai dan laut (DHI Software, 2007). Program ini dikembangkan oleh DHI Water & Environment. MIKE 21 terdiri dari beberapa modul, diantaranya adalah sebagai berikut

➤ *Hydrodynamic Modul*

MIKE 21 *hydrodynamic (HD) module* adalah model matematika untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di open model boundaries. *Hydrodynamic module* mensimulasi perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, estuari dan pantai. Efek dan fasilitasi yang termasuk di dalamnya yaitu:

- *bottom shear stress*
- *wind shear stress*
- *Coriolis force*
- *momentum dispersion*
- *sources and sinks*
- *evaporation*

- *flooding and drying*
- *wave radiation stresses*

➤ *Spectral Wave Modul (SW)*

MIKE 21 SW mensimulasikan pembangkitan, dan transmisi angin gelombang dan *swell* di pantai atau lepas pantai. MIKE 21 SW memasukkan fenomena fisik berikut:

- Pembangkitan gelombang akibat angin
- Interaksi gelombang nonlinear
- Energi Disipasi disebabkan oleh *bottom friction*
- Energi Disipasi disebabkan oleh *depth-induced wave breaking*
- Refraksi dan *shoaling* yang disebabkan oleh perbedaan kedalaman
- Interaksi arus-gelombang
- Efek dari waktu-kedalaman yang berbeda-beda antara *flooding and drying*

MIKE 21 SW digunakan untuk perhitungan gelombang di lepas pantai dan pantai. Aplikasi utamanya adalah desain struktur lepas pantai, pantai dan pelabuhan dimana perhitungan beban gelombang yang akurat sangat penting untuk mendapatkan desain struktur yang aman dan ekonomis. Data hasil pengukuran dalam periode yang cukup lama sering tidak tersedia untuk estimasi keadaan laut ekstrim yang cukup akurat. Dalam kasus ini data hasil pengukuran dapat ditambahkan dengan data *hindcast* melalui simulasi kondisi gelombang selama *historical storms* menggunakan MIKE 21 SW. MIKE 21 SW dapat digunakan untuk prediksi gelombang dan analisa dalam skala regional dan skala lokal. MIKE 21 SW juga digunakan dalam hubungannya dengan perhitungan transportasi sedimen, yang mana sebagian besar ditentukan oleh kondisi gelombang dan *wave-induced currents*.

➤ *Sand Transport Modul*

Modul *Sand Transport* (ST) merupakan aplikasi model dari angkutan sedimen non kohesif. *Sand Transport Module* menghitung hasil dari pergerakan material non kohesif berdasarkan kondisi aliran di dalam modul hidrodinamik serta kondisi gelombang dari perhitungan gelombang (*modul spectral wave*). Pendekatan formula yang digunakan dalam transportasi sedimen di modul ini adalah Engelund-Hansen model (1972), Van-Rijn model (1984, 1993), Engelund-Fredsoe model (1976), serta Meyer-Peter-Müller model (1984). Persamaan yang digunakan dalam modul ini adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{z(1+a-e^z)}{e^z(z-1)+1} \frac{1}{U_0} \frac{dU_0}{dt} + \frac{30K}{k} \frac{\sqrt{K^2 U_0^2 |z^2 U_{f0}^2| 2Kz U_{f0} U_0 \cos \gamma}}{e^z(z-1)+1} \quad (2.1)$$

Dimana:

K = konstanta Von Karman

t = waktu (s)

z = parameter tebal *boundary layer* (mm)

U_0 = kecepatan orbit dasar gelombang terdekat (m/s)

U_{f0} = kecepatan geser arus dalam lapisan batas gelombang (m/s)

γ = sudut antara arus dan gelombang (degree)

k = kekasaran dasar permukaan $2.5 d_{50}$ untuk lapisan *plane bed* dan $2.5 d_{50} + k_R$ untuk *ripple covered bed* (mm)

d_{50} = rata ukuran diameter (mm)

k_R = koefisien *ripple* yang berkaitan dengan kekasaran

Beberapa item *output* yang dihasilkan dari *Modul Sand Transport* (ST) ini antara lain:

- *Suspended Sediment Concentration (SSC)*
- *Suspended Load, x-component*
- *Suspended Load, y-component*
- *Total load, x-component*
- *Total load, y-component*
- *Rate of bed level change*
- *Bed level change*
- *Bed level*

2.2.2 Kalibrasi Model

Dalam model numerik, biasanya dilakukan kalibrasi model yaitu mencocokkan hasil simulasi model dengan kondisi nyata. Hal ini penting dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dari model sehingga dapat digunakan dalam analisa model yang lebih kompleks. Formula yang digunakan dalam tesis ini untuk menguji keakurasian model yaitu formula RMSE dan persentase kesalahan sebagai berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N [\hat{X}_i - X_i]^2 \right]} \quad (2.2)$$

Dimana:

$RMSE$ = Akar dari rata – rata kuadrat kesalahan

\bar{x}_i = Hasil pemodelan

X_i = Data lapangan

N = Jumlah data

$$Error = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \left| \frac{\hat{X}_i - X_i}{TP} \right| \right] * 100\% \quad (2.3)$$

\bar{x}_i = Hasil pemodelan

X_i = Data lapangan

TP = Tunggang Pasang (Rentang hasil observasi maksimum dan minimum)
N = Jumlah data

2.2.3 Angin

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan, yaitu dari daerah dengan tekanan udara tinggi ke daerah dengan tekanan udara rendah. Perbedaan tekanan ini terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Pengukuran angin dilakukan dengan menggunakan anemometer yang dipasang 10 meter diatas permukaan perairan dan recodernya di pasang di darat. Pengamatan dilakukan selama sepanjang tahun dengan penggantian kertas grafik dan asesoris lainnya tiap 1 bulan. Data tersebut pada umumnya dipilah berdasarkan statistik distribusi kecepatan dan arah angin serta presentasenya, atau lebih dikenal dengan istilah *wind rose* dengan periode bulanan, tahunan atau beberapa tahun pencatatan. Dengan diagram *wind rose* ini maka karakteristik angin dapat dibaca dengan tepat dan cepat.

2.2.4 Pasang Surut

Pasang surut adalah fenomena naik dan turunnya muka air laut secara berulang (periodik) dengan perioda tertentu akibat gaya tarik menarik bumi dengan benda-benda langit lainnya. Dua benda langit yang sangat berpengaruh signifikan pada pasang surut air laut bumi adalah matahari karena masa-nya yang besar dan bulan, karena jaraknya yang dekat dengan bumi. Benda-benda langit yang lain tidak diperhitungkan.

Gaya pasang surut ditentukan oleh besar massa dan juga jarak antara massa tersebut seperti yang diterangkan melalui persamaan gaya tarik gravitasi berikut ini:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (2.4)$$

Pada persamaan di atas, r adalah jarak antar pusat benda dengan masa m_1 dan m_2 , dan G adalah suatu konstanta gravitasi yaitu $6.6 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ N/kg}^2$.

Tabel 2.1 Komponen Pasang Surut

Pasut	Deskripsi	Simbol	Periode (T) Jam mthr	Amplitudo (rasio relatif)
Semi-diurnal (ganda)	Gaya tarik utama bulan	M_2	12,42	100
	Gaya tarik utama matahari	S_2	12,00	46,6
	Komponen bulan karena variasi bulanan jarak bulan dari bumi	N_2	12,66	19,1
	Komponen matahari-bulan oleh perubahan deklinasi matahari dan bulan lewat siklus orbitnya	K_2	11,97	12,7
Diurnal (tunggal)	Komponen matahari-bulan	K_1	23,93	58,4
	Komponen utama bulan diurnal	O_1	25,82	41,5
	Komponen utama matahari diurnal	P_1	24,07	19,3

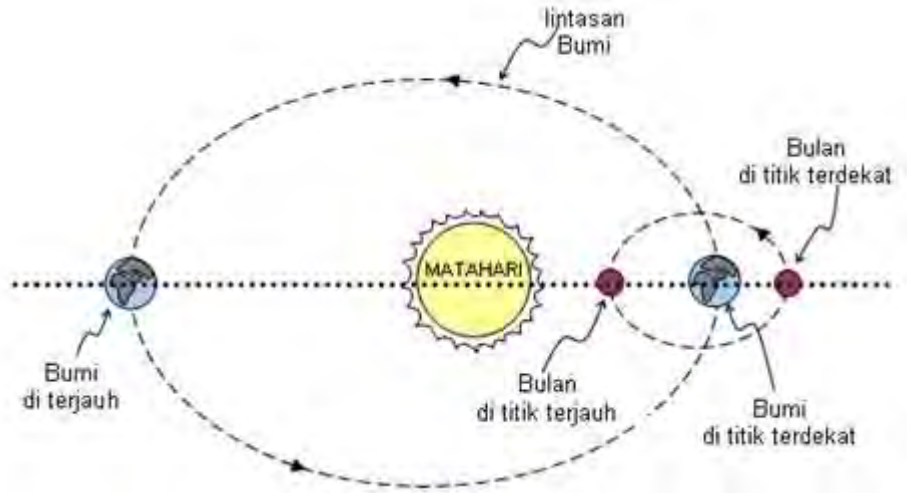
(sumber: Poerbandono dan E.Djunarsjah, 2005)

Matahari dan bulan yang posisinya selalu berubah terhadap bumi akan menyebabkan permukaan air dalam keadaan setimbang selalu bergerak pada setiap titik di permukaan bumi. Pada keadaan sebenarnya, teori keseimbangan ini tidak bisa mengabaikan pengaruh topografi. Pada teori keseimbangan didapatkan komponen yang berpengaruh pada pasang surut akibat dari gerakan bulan dan matahari relatif terhadap bumi. Komponen tersebut mempunyai kecepatan sudut tertentu yang selalu tetap.

Pergerakan masing-masing benda langit menurut orbitnya mengakibatkan posisi bumi-bulan-matahari selalu berbeda dan adanya sudut sumbu putar bumi. Akibat pengaruh sumbu putar bumi dengan bidang edar bulan ini menimbulkan kondisi pasang surut di tiap titik di bumi berbeda menurut jumlah pasang surut yang dapat terjadi tiap harinya. Adapun beberapa tipe pasang surut tersebut antara lain:

- Pasang surut diurnal, pasang surut yang terjadi satu kali dalam sehari.
- Pasang surut semidiurnal, yaitu pasang surut yang terjadi dua kali setiap harinya.

- Pasang surut campuran, yaitu pasang surut yang terjadi dua kali namun besarnya berbeda pada tiap harinya.



Gambar 2.1. Pengaruh Posisi Bulan Bumi dan Matahari pada Pasang Surut
(Sumber: www.google.co.id/imgres?imgurl=https://rachmanabdul.files.wordpress.com/2011/12)

Untuk mengetahui tipe pasang surut dapat menggunakan persamaan Bilangan Formzal dimana akan mendeteksi tipe pasang surut dari nilai amplitude komponen utamanya.

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (2.5)$$

Tipe pasang surut berdasarkan nilai F dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

0 – 0.25	= semi diurnal
0.25 – 1.5	= campuran (semi diurnal dominant)
1.5 – 3.0	= campuran (diurnal dominant)
>3.0	= diurnal

2.2.5 Gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam tergantung pada gaya pembangkitnya seperti, gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin dipermukaan laut, gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami yang terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak dan sebagainya. Di antara beberapa bentuk gelombang tersebut yang paling penting dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin dan pasang surut. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transportasi sedimen dalam arah tegak lurus atau sepanjang pantai. Gelombang merupakan faktor utama di dalam penentuan tata letak (*layout*) pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan pantai dan sebagainya. Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linearitas, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang tidak beraturan.

Ada beberapa teori dengan berbagai derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam, diantaranya teori Airy, Stoke, Gerstner, Mich, Knoidal, dan Tunggal. Masing-masing teori gelombang tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda-beda. Berdasarkan Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam, akan tetapi gelombang yang ada di alam sangatlah tidak teratur, sehingga gelombang alam harus dianalisa secara statistik. Untuk mendapatkan sifat-sifat gelombang tersebut dilakukan pencatatan gelombang dalam periode tertentu. Gelombang dengan periode ulang tertentu tersebut membutuhkan data gelombang dalam jangka waktu pengukuran cukup panjang (beberapa tahun). Data tersebut bisa berupa data pengukuran gelombang atau data gelombang hasil prediksi (peramalan) berdasarkan data angin. Dari setiap tahun pencatatan dapat ditentukan gelombang representatif, seperti H_s , H_{10} , H_1 , H_{maks} dan sebagainya. Berdasarkan data representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali

dalam T tahun, dan gelombang tersebut dikenal dengan gelombang periode ulang T tahun atau gelombang T tahunan. Misalkan apabila $T = 50$, gelombang yang diperkirakan adalah gelombang 50 tahunan atau gelombang dengan periode ulang 50 tahun, artinya bahwa gelombang tersebut diharapkan disamai atau dilampaui rata-rata sekali dalam 50 tahun.

2.2.6 Tegangan Geser Dasar

Tegangan geser dasar atau yang dikenal sebagai *bottom shear stress* merupakan salah satu komponen penting dalam perhitungan transportasi sedimen yang selanjutnya diimplementasikan dalam analisa perubahan morfologi pantai. Secara umum persamaan tegangan geser dapat diketahui dari hubungan tegangan dasar tersebut dengan kecepatan aliran di dekat dasar. Berikut rumus tegangan geser dasar yang umum digunakan :

$$\tau_0(t) = \frac{\rho}{2} f_w(t) U(t) |U(t)| \quad (2.6)$$

$\tau_0(t)$ merupakan tegangan geser dasar sesaat, t adalah waktu, f_w menyatakan *wave friction factor* dan $U(t)$ adalah *free stream velocity*. Dalam perkembangannya, persamaan tegangan geser dasar banyak diteliti dan diuji dengan data-data dari eksperimen dan menghasilkan beberapa persamaan tegangan geser. Dalam tesis ini persamaan tegangan geser dasar yang akan dibandingkan sebagai berikut :

- **Metode 1**

Metode tegangan geser dasar ini diusulkan oleh •Tanaka dan Samad (2006) berdasarkan pada siklus gelombang harmonik yang dimodifikasi dengan beda phase . Pada metode ini digunakan faktor koefisien gesekan gelombang (f_w) untuk mendapatkan tegangan geser yang sesuai.

$$f_w = \exp \left(-7.53 + 8.07 \left(\frac{a_m}{z_0} \right)^{-0.100} \right) \quad (2.7)$$

Dengan :

- f_w = wave friction factor
- a_m = amplitude pada fluida (m)
- Z_o = roughness heigh (m)

Sedangkan untuk persamaan tegangan geser dasar yang digunakan adalah:

$$\tau_o \left(t - \frac{\varphi}{\sigma} \right) = \frac{1}{2} \rho f_w U(t) |U(t)|, \quad (2.8)$$

Dengan

- $\tau_o(t)$ = merupakan tegangan geser terhadap waktu (t)
- f_w = wave friction factor
- σ = frekuensi angular (rad/s)
- $U(t)$ = free stream velocity (m/s)
- φ = beda fase (degree)

• Metode 2

Tinjauan *bottom boundary layer* untuk gelombang irreguler dalam kondisi aliran laminar dan di atas dasar halus telah dilakukan oleh Samad (2000). Persamaan tegangan geser yang diusulkan kemudian dimodifikasi dengan menggunakan perbedaan fase dan faktor percepatan pada dasar kasar seperti yang diusulkan oleh Suntoyo dkk (2008) sehingga menjadi sebagai berikut :

$$\tau_o(t) = 0.039 \rho \left(\frac{a_m}{k_s} \right)^{0.184} \sigma v^{0.16} U_a |U_a|^{0.68} \quad (2.9)$$

$$U_a(t) = \left\{ U \left(t + \frac{\varphi}{\sigma} \right) + \frac{a_c}{\sigma} \frac{\partial U(t)}{\partial t} \right\} \quad (2.10)$$

Dengan :

- $\tau_o(t)$ = merupakan tegangan geser terhadap waktu (t)
- ρ = masa jenis air laut (kg/m^3)
- a_m = amplitude pada fluida (m)

$U(t)$	= <i>free stream velocity</i> (m/s)
σ	= frekuensi angular (rad/s)
φ	= beda fase
a_c	= koefisien percepatan
ν	= viskositas kinematis (m ² /s)

2.2.7 Parameter Shield

Transportasi sedimen diawali dengan mobilisasi gaya-gaya angkat (*lift*) dan hambatan (*draft*), yang bekerja pada butiran sedimen akibat pergerakan fluida yang melalui sedimen lebih besar daripada gaya stabilitas (gaya gravitasi). Rasio gaya ini menentukan kemampuan untuk memindahkan butir sedimen dan disebut dengan parameter Shield yang diberikan pada persamaan berikut :

$$\theta_s(t) = \frac{\tau(t)}{((\rho_s/\rho) - 1)gd_{50}} \quad (2.11)$$

Dengan :

ρ_s	= massa jenis sedimen (kg/m ³)
ρ	= masa jenis air laut (kg/m ³)
$\tau(t)$	= tegangan geser dasar sesaat (N/m ²)
d_{50}	= median ukuran sedimen(mm)
g	= percepatan gravitasi (m ² /s)

Untuk *critical Shields number* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diusulkan oleh Tanaka dan To (1995). Bentuk persamaannya adalah sebagai berikut

$$\theta_{cr}(t) = 0.055 (1 - \exp(-0.09S_*^{0.58})) + 0.09S_*^{-0.72} \quad (2.12)$$

Dimana, S_* adalah ukuran partikel sedimen tidak berdimensi didefinisikan melalui persamaan berikut:

$$S_* = \frac{\sqrt{(\rho_s / \rho - 1)gd^3}}{4\nu} \quad (2.13)$$

Dengan :

- ρ_s = massa jenis sedimen (kg/m^3)
- ρ = masa jenis air laut (kg/m^3)
- ν = viskositas kinematis (m^2/s)
- d = median ukuran sedimen (mm)
- g = percepatan gravitasi (m^2/s)

2.2.8 Transportasi Sedimen

Transportasi sedimen pantai adalah gerakan sedimen pada daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus. Daerah pantai dibagi menjadi tiga zone: *offshore zone*, *surf zone*, dan *swash zone*. Zona *offshore* merupakan perpanjangan dari *breaker line* menuju perairan terbuka. Transportasi sedimen pada zona ini didominasi oleh gelombang yang dipengaruhi gerakan orbital. Bagian kedua yaitu *surf zone* yaitu bagian yang berada mulai dari *breaker line* hingga garis pantai. Sementara *swash zone* berada pada daerah yang menghubungkan antara pantai dan perairan. Posisi garis pantai berubah sesuai dengan perubahan water level dan oleh karena itu swash zone menjadi kering atau basah dalam variasi waktu tertentu.

Menurut Fredsoe and Diegard (1992) transportasi sedimen dibagi menjadi tiga yaitu :

1. *Bedload Sedimen Transport*

Bedload Sedimen Transport didefinisikan sebagai bagian dari total sedimen yang terus berhubungan dengan dasar selama terjadi transportasi sedimen, terutama mencakup butir-butir pasir yang berguling, bergeser, atau melompat sepanjang dasar. *Bedload Sedimen Transport* ditentukan dalam hubungannya terhadap tegangan geser aktif yang bekerja langsung pada permukaan butir. Pada *Bedload Sedimen Transport*, moda dasar gerak partikel sedimen adalah *rolling*, *sliding*, dan *saltation* sesuai dengan kecepatan pergerakan sedimen tersebut.

2. *Suspended Load*

Suspended Load didefinisikan sebagai bagian dari total sedimen yang bergerak tanpa kontak langsung dengan dasar sebagai akibat agitasi/bergejolaknya

fluida akibat turbulen. Sedimen tetap melayang (tersuspensi) oleh aliran turbulen untuk periode waktu tertentu.

3. *Wash Load*

Wash Load Terdiri dari partikel yang sangat halus yang diangkut oleh air tetapi partikel tidak berada di dasar. Oleh karena pengetahuan terkait dengan komposisi dasar tidak mengizinkan adanya prediksi laju transport *wash load*, sehingga *Wash Load* diabaikan dalam perhitungan debit total sedimen.

2.2.9 Transportasi Sedimen Dasar (*Bed Load Sediment Transport*)

Transportasi sedimen dasar (*Bed load sediment transport*) didefinisikan sebagai bagian dari total angkutan sedimen yang terus berhubungan dengan dasar selama terjadi transportasi sedimen, terutama mencakup butir-butir pasir yang berguling, bergeser, atau melompat sepanjang dasar. *Bed load sediment transport* harus ditentukan dalam hubungannya terhadap tegangan geser aktif yang bekerja langsung pada permukaan butir.

Pada *Bed load sediment transport*, moda dasar gerak partikel sedimen adalah *rolling*, *sliding*, dan *saltation* sesuai dengan kecepatan pergerakan sedimen tersebut.

Secara umum *bed load* (q_b) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\Phi_B = \frac{q_B}{d\sqrt{s-1} g d} \quad (2.14)$$

Dengan Φ_B merupakan factor kecepatan dimensional bed load yang dapat dihitung dengan 2 formula yaitu :

- Formula dari Meyer-Peter Muller

$$\Phi_B = 8 (\theta_s - \theta_{CR})^{3/2} \quad (2.15)$$

- Formula dari Neilsen (1992)

$$\Phi_B = 12 \theta_s^{1/2} (\theta_s - \theta_{CR}) \quad (2.16)$$

Dengan:

θ_s = *Shield parameter* dan

θ_{CR} = *Critical shield parameter*

Selain persamaan umum *Bed load sediment transport* diatas, beberapa peneliti juga mengemukakan persamaan *Bed load sediment transport* sesuai dengan hasil eksperimennya. Persamaan *Bed load sediment transport* tersebut antara lain :

- Persamaan transportasi sedimen oleh Meyer-Peter-Muller (1948)

$$\Phi(t) = \frac{q(t)}{\sqrt{(\rho_s/\rho-1)gd_{50}^3}} = 8 \operatorname{sign}\{\theta_s(t)\} \{|\theta_s(t)| - \theta_{CR}\}^{1.5} \quad (2.17)$$

- Persamaan transportasi sedimen oleh Nielsen (2006)

$$\Phi(t) = \frac{q(t)}{\sqrt{(\rho_s/\rho-1)gd_{50}^3}} = 12 \operatorname{sign}\{\theta_s(t)\} |\theta_s(t)|^{0.5} \{|\theta_s(t)| - \theta_{CR}\} \quad (2.18)$$

- Persamaan transportasi sedimen oleh Suntoyo dan Tanaka (2009)

$$\Phi(t) = \frac{q(t)}{\sqrt{(\rho_s/\rho-1)gd_{50}^3}} = 11 \operatorname{sign}\{\theta_s(t)\} |\theta_s(t)|^{0.5} \{|\theta_s(t)| - \theta_{CR}\} \quad (2.19)$$

Dengan :

$\Phi(t)$ = laju transportasi sedimen seketika yang tidak berdimensi

Sign = simbol fungsi dalam kurung

$q(t)$ = laju transportasi bed load ($\text{m}^3/\text{m/s}$)

ρ_s = massa jenis sedimen (kg/m^3)

ρ = masa jenis air laut (kg/m^3)

d_{50} = median ukuran sedimen (mm)

g = percepatan gravitasi (m^2/s)

2.2.10 Perubahan Morfologi Dasar laut

Evolusi dasar laut dimodelkan dengan menggunakan persamaan konservasi sedimen:

$$\frac{\partial d(x,t)}{\partial t} = (1 + p) \frac{\partial q_t(x,t)}{\partial x} \quad (2.20)$$

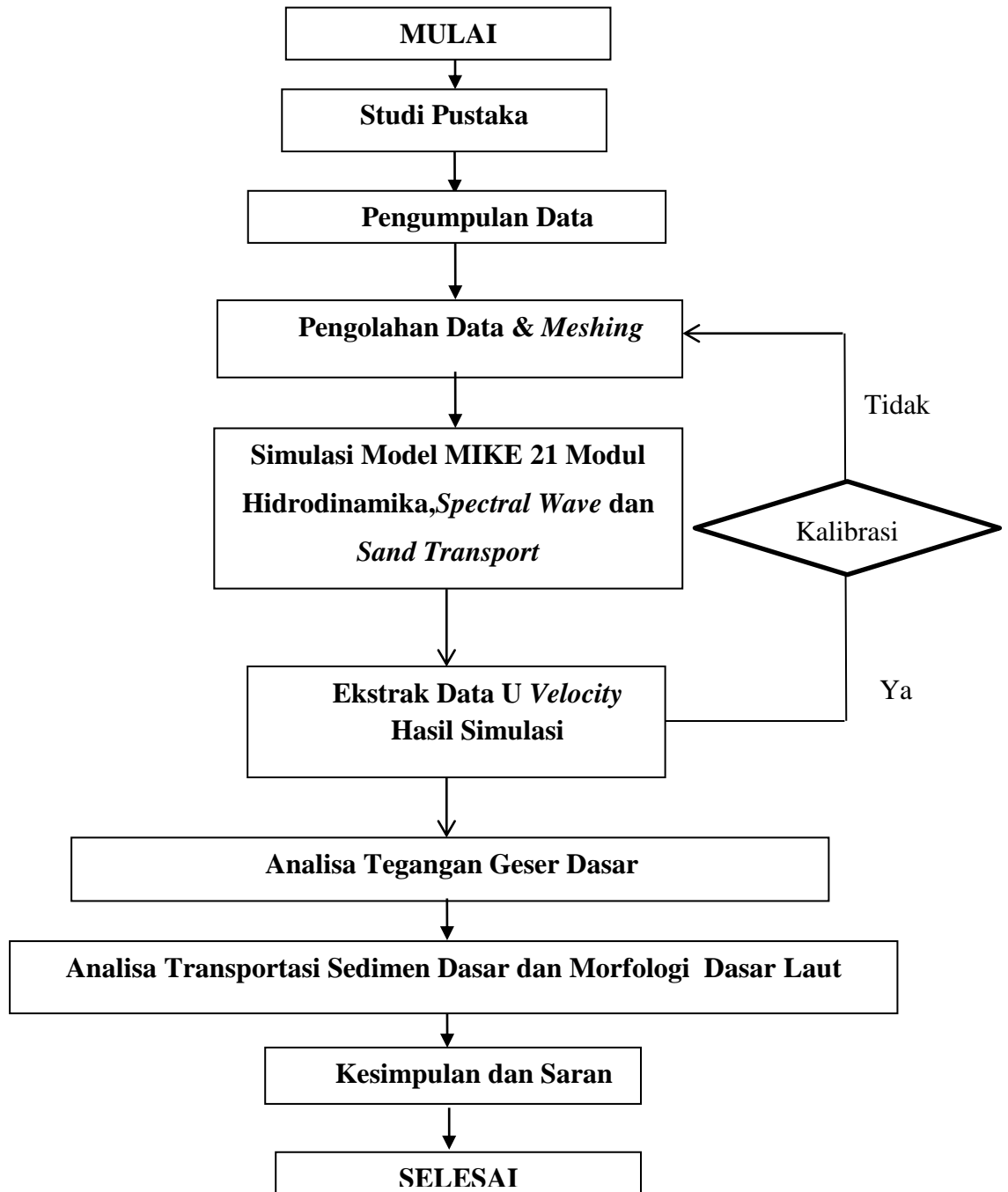
dimana $q_t(x, t)$ adalah total sediment flux and p porositas dasar (*bed porosity*). Untuk menghitung fluks sedimen total $q_t(x)$ terdiri dari fluks *bedload* $q_b(x)$ disebabkan oleh tegangan geser dasar gelombang dan flux suspensi $q_s(x)$ yang berhubungan dengan arus yang disebabkan gelombang, konsentrasi sedimen dan tegangan geser dasar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam tesis ini dijelaskan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan Tesis

3.2 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Studi Pustaka

Tahapan pencarian buku, jurnal, ataupun tesis yang berkaitan dengan pokok permasalahan yang ditinjau. Literatur tersebut digunakan sebagai acuan ataupun referensi tesis ini.

2. Pengumpulan Data

- Data pasang surut Grati
- Data kecepatan arus Grati
- Peta Batimetri PLTGU Grati
- Data angin Grati
- Data butiran sedimen Grati
- Data gelombang Grati

3. Pengolahan Data & Meshing

- Pengolahan data angin, pasang surut dan kecepatan arus ke dalam format model MIKE 21
- *Meshing* Peta batimetri PLTGU Grati

4. Simulasi Model MIKE 21 Modul Hidrodinamika, *Spectral Wave* dan *Sand Transport*

Simulasi yang dilakukan berdasarkan data-data yang telah disesuaikan dengan *input* dari software MIKE 21. Simulasi yang dilakukan selama 15 hari dengan menggunakan dua model yaitu model yang hanya menggunakan input pasang surut dan model yang menambahkan efek angin dan gelombang.

5. Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui besarnya penyimpangan yang terjadi antara data dari hasil pengukuran lapangan dengan data hasil simulasi model. Metode kalibrasi yang dilakukan pada studi ini adalah *root mean square error* (RMSE) dan persentase kesalahan.

6. Analisa tegangan geser dasar

Dalam analisa tegangan geser dasar dilakukan perbandingan formula tegangan geser dasar berdasarkan data *u velocity* dari hasil simulasi model, sehingga dapat ditentukan formula yang tepat untuk menghitung laju transportasi sedimen. Selain itu ditinjau juga efek-efek yang berpengaruh terhadap perubahan tegangan geser dasar sehingga dapat mengetahui karakteristik kondisi dasar daerah yang diamati.

7. Analisa transportasi sedimen dan morfologi dasar

Dilakukan perhitungan laju transportasi sedimen dan perubahan morfologi dasar laut yang terjadi di area PLTGU Grati. Hasil transportasi sedimen ini selanjutnya dibandingkan dengan hasil simulasi model, baik itu akibat arus atau gabungan arus dan gelombang.

8. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari hasil analisa yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemodelan MIKE 21

MIKE 21 adalah suatu perangkat lunak untuk rekayasa profesional yang menggunakan sistem pemodelan yang komprehensif berbasis program komputer untuk 2D *free-surface flows*. MIKE 21 dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrodinamika dan fenomena yang ada di sungai, danau, estuari, teluk, pantai dan laut. Dalam tesis ini akan mensimulasikan 2 model dengan melibatkan 3 pilihan modul dari model MIKE 21 (*hydrodynamic modul*, *spectral wave modul*, dan *sand transport modul*). **Model Pertama** disimulasikan dengan menggunakan input pasang surut serta menggunakan 2 modul yaitu *hydrodynamic modul* dan *sand transport modul*. **Model Kedua** dengan menambahkan efek gelombang dan menggunakan 3 modul yaitu *hydrodynamic modul*, *spectral wave modul*, dan *sand transport modul*.

Dari hasil simulasi kedua model ini kemudian ditinjau pengaruh arus yang disebabkan oleh pasang surut atau kombinasi arus dan gelombang. Model pertama dan kedua nantinya akan digunakan dalam analisa tegangan geser dasar, transportasi sedimen dasar dan morfologi dasar. Secara umum terdapat 2 tahapan dalam pemodelan MIKE 21 seperti tahapan persiapan yaitu persiapan bahan input untuk pemodelan, kemudian dilaksanakan simulasi pemodelan dan dilakukan juga kalibrasi model untuk mengetahui kesesuaian antara model dengan kondisi lapangan.

4.1.1 Tahap Persiapan

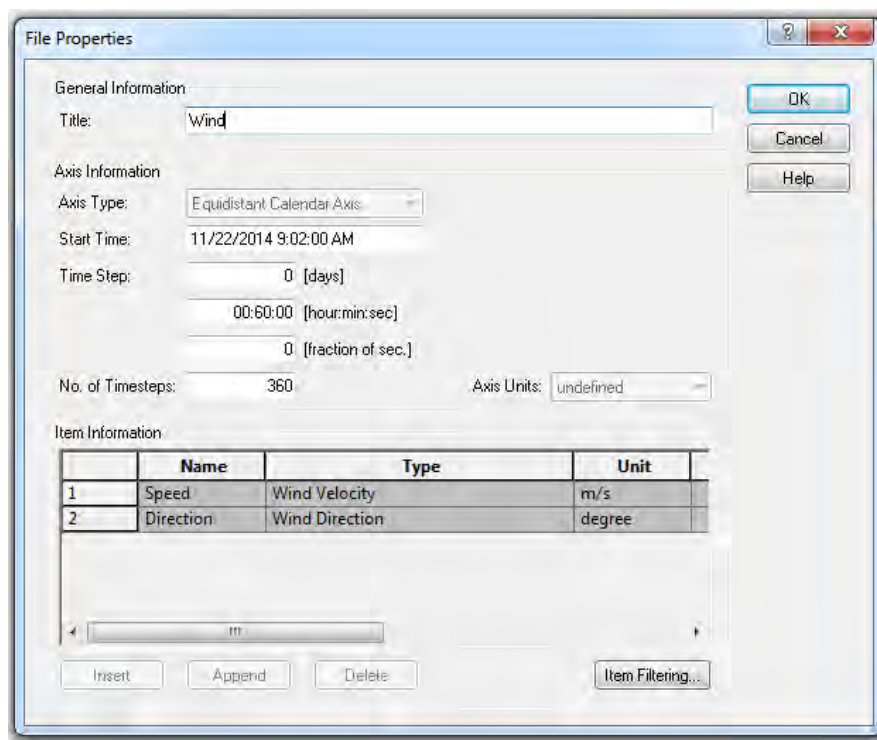
4.1.1.1 Kompilasi Data

Data yang digunakan untuk pemodelan MIKE 21 seperti peta bathimetri, data pasang surut, data angin, data gelombang, dan data sedimen. Data *input* yang digunakan dalam model sama, kecuali pada model 2 yang menggunakan *input* gelombang. Untuk lebih jelasnya, berikut kegunaan data-data yang akan digunakan dalam model MIKE 21:

Tabel 4.1 Data-data untuk pemodelan MIKE 21

No	Data	Fungsi
1`	Peta Batimetri PLTU Grati	<i>Input model (Meshing)</i>
2	Data Angin Grati,Pasuruan	<i>Input modul hydrodynamic</i>
3	Data Gelombang Grati Pasuruan	<i>Input modul spectral wave</i>
4	Data Sedimen Grati	<i>Input modul sand transport</i>
5	Data Pasang Surung Grati	<i>Input modul hydrodynamic dan kalibrasi</i>
6	Data Arus Grati	Kalibrasi

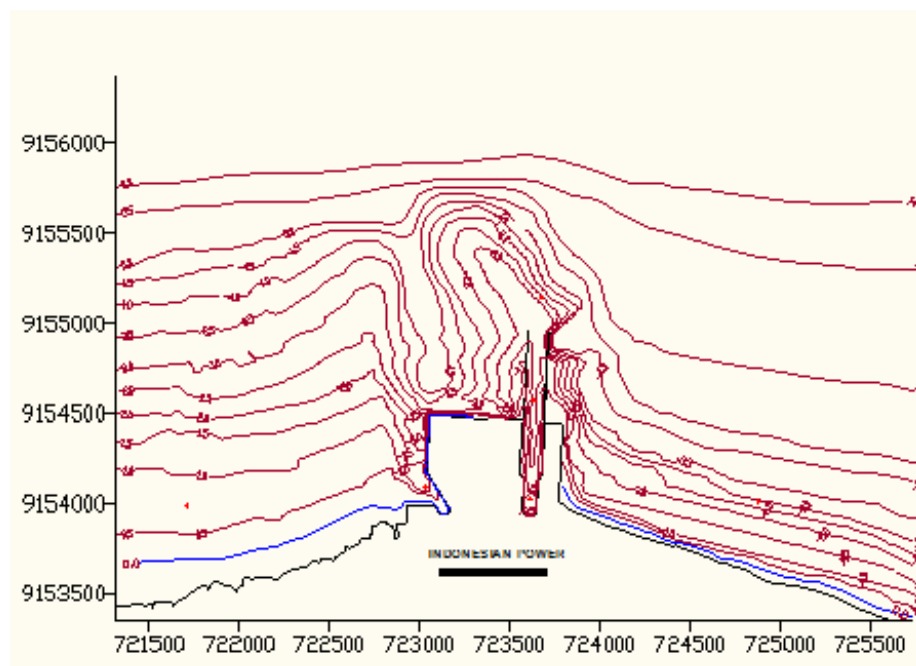
Data-data tersebut kemudian diolah sesuai dengan format dalam *input* model MIKE 21. *Input data time series* atau data yang disusun berdasarkan waktu di plot seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.1 *Input model time series* di MIKE 21

4.1.1.2 Penyusunan Mesh dan batimetri model

Penyusunan *mesh* adalah pekerjaan yang penting dalam proses pemodelan. Penyusunan *mesh* pada pemodelan ini berdasarkan *flexible mesh* dengan menggunakan *mesh generator* dari MIKE 21. Sebelum melakukan *mesh*, dilakukan editing peta batimetri pada aplikasi autocad sehingga sesuai dengan format *input* pada *mesh generator* dari MIKE 21. Untuk tampilan peta batimetri dari PLTGU Grati dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

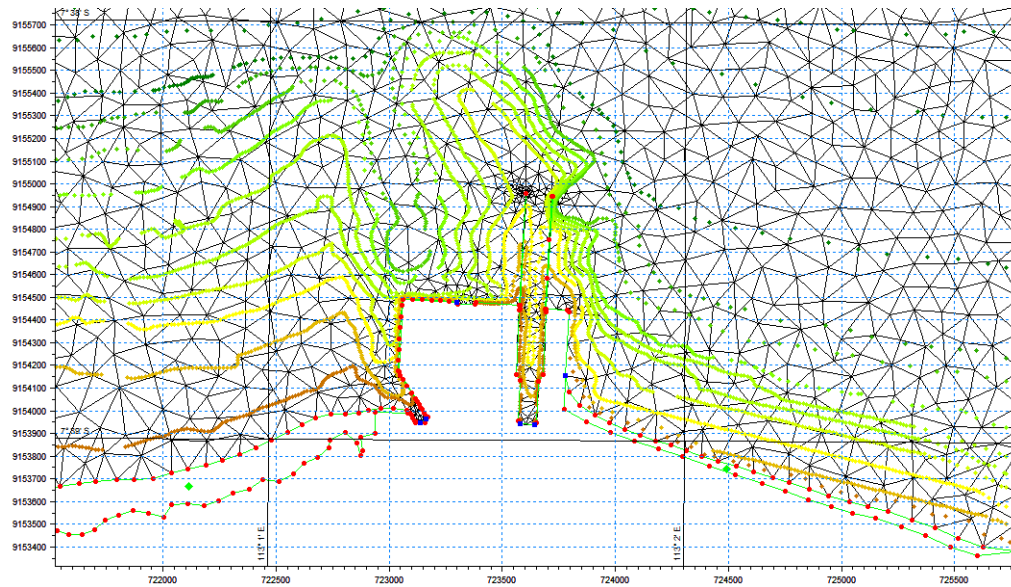


Gambar 4.2 Tampilan Batimetri PLTU Grati

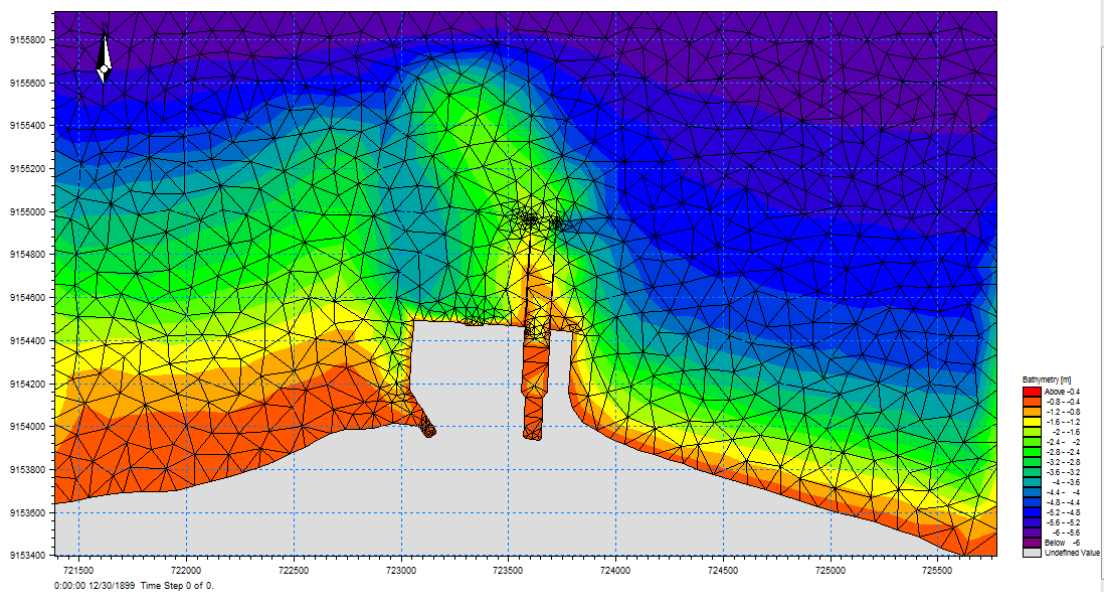
Setelah editing peta batimetri kemudian dilakukan *meshing*. Mesh file menggabungkan kedalaman perairan dengan posisi geografis yang berbeda. Tahap-tahap dalam pembentukan mesh ini adalah sebagai berikut:

- Mengimpor batas-batas model
- Mengedit batas daratan
- Spesifikasi batas-batas
- Pembentukan *mesh*

- Memperhalus batas-batas daratan
- Interpolasi batimetri terhadap *mesh*
- Memperhalus *mesh*



Gambar 4.3 Tampilan *mesh* batimetri PLTU Grati



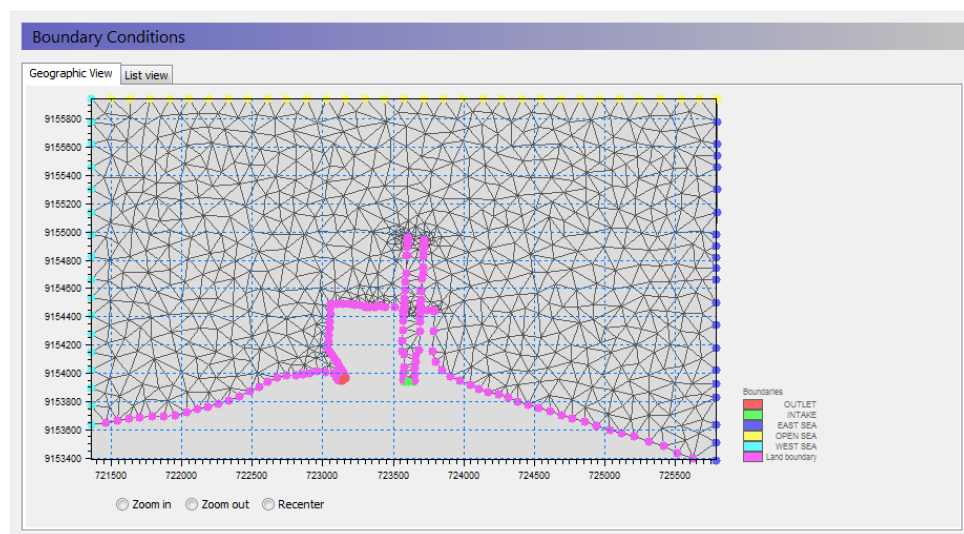
Gambar 4.4 Hasil interpolasi *Meshing* batimetri PLTU Grati

4.1.1.3 Waktu Simulasi

Waktu simulasi yang digunakan untuk simulasi model ini mulai dari tanggal 22 Nopember 2014 pukul 09.00 AM sampai dengan 7 Desember 2014 pukul 09.00 AM. Kurun waktu yang digunakan yaitu (lima belas) hari dengan *time step interval* yang digunakan adalah 3600 detik dan jumlah time step sebanyak 360.

4.1.1.4 Syarat Batas (*Boundary condition*)

Untuk simulasi model MIKE 21 terdapat 4 syarat batas yaitu *open sea*, *east sea*, *west sea* dan *land boundary*. Syarat batas ini berfungsi untuk menetapkan kondisi atau properti yang diinginkan dari setiap syarat batas yang ada. Gambar pada masing-masing kondisi syarat batas dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.5 Syarat Batas Model MIKE 21 PLTU Grati

4.1.2 Simulasi Pemodelan

Untuk mengetahui keakurasian model yang dibuat, maka perlu dilakukan kalibrasi. Dalam tesis ini, kalibrasi yang dilakukan hanya pada pasang surut dan kecepatan arus. Untuk kalibrasi gelombang tidak dilakukan karena tidak adanya data pengukuran lapangan.

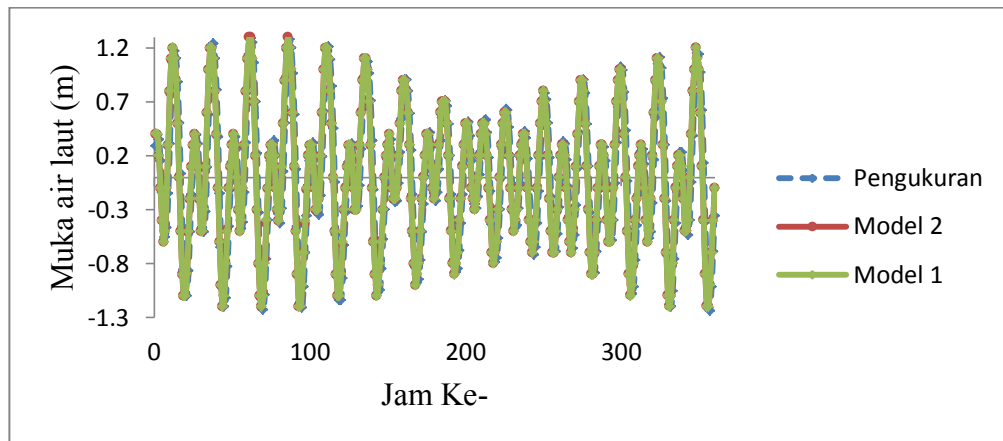
4.1.2.1 Kalibrasi Pasang Surut

Kalibrasi pasang surut dilakukan untuk mendapatkan model yang sesuai dengan kondisi lapangan dengan cara membandingkan data pasang surut hasil simulasi modul *hydrodynamic modul* (HD) dengan data pasang surut hasil pengukuran dan data dari DISHIDROS. Data pengukuran pasang surut merupakan data selama 15 hari pengamatan dengan interval pembacaan setiap 60 menit. Pengamatan pasang surut dilaksanakan mulai dari tanggal 22 November – 7 Desember di intake PLTGU Grati Pasuruan pada posisi koordinat S $7^{\circ} 39' 00.7''$, E $=113^{\circ} 01' 36.9''$. Kalibrasi yang digunakan menggunakan formula RMSE dan persentase kesalahan dengan hasil sebagai berikut..

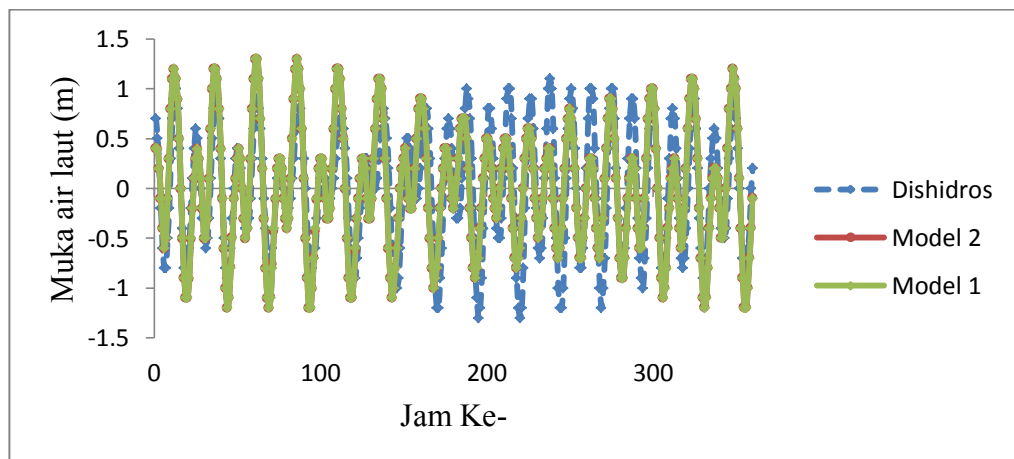
Tabel 4.2 Hasil Kalibrasi pasang surut di area PLTU Grati

No	Model Vs	RMSE		Persentase Kesalahan(%)	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
1	Pengukuran	0.034	0.034	3.63	3.63
2	DISHIDROS	0.34	0.34	31.27	31.31

Dari hasil kalibrasi pasang surut, terlihat bahwa untuk hasil kalibrasi model dengan data DISHIDROS terdapat perbedaan yang cukup besar dikarenakan dalam pemodelan, input pasang surut yang digunakan menggunakan data hasil pengukuran lapangan selama 15 hari. Untuk lebih jelasnya mengenai hasil kalibrasi pasang surut dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.6 Hasil kalibrasi pasang surut pengukuran dan model MIKE 21



Gambar 4.7 Hasil kalibrasi pasang surut dari DISHIDROS dan model MIKE 21

4.1.2.2 Kalibrasi Kecepatan Arus

Selain kalibrasi menggunakan pasang surut, dilakukan juga kalibrasi kecepatan arus dengan membandingkan data hasil simulasi dengan data pengukuran yang dilakukan di sekitar area PLTGU Grati, Pengukuran kecepatan arus yang digunakan dalam kalibrasi berdasarkan dari 4 titik sampel. Pengukuran dilakukan selama 48 jam dengan interval waktu pengukuran setiap 1 jam. Tempat pengukuran arus berada pada area

utara kanal, tengah kanal, barat kanal dan timur kanal seperti gambar berikut :



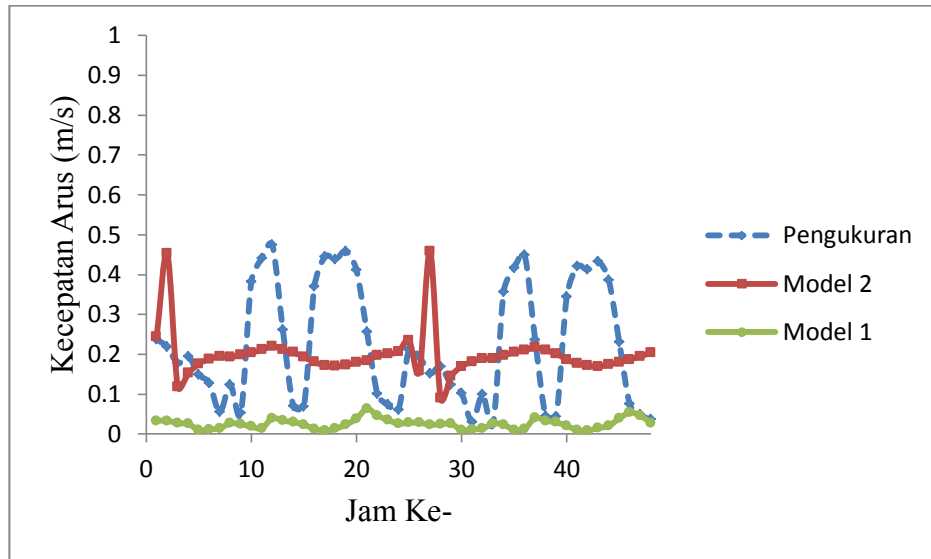
Gambar 4.8 Titik pengambilan sampel kecepatan arus di PLTGU Grati

Dari 4 titik pengambilan sampel tersebut kemudian dibandingkan dengan data *time series* kecepatan arus hasil simulasi. Hasil kalibrasi arus dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

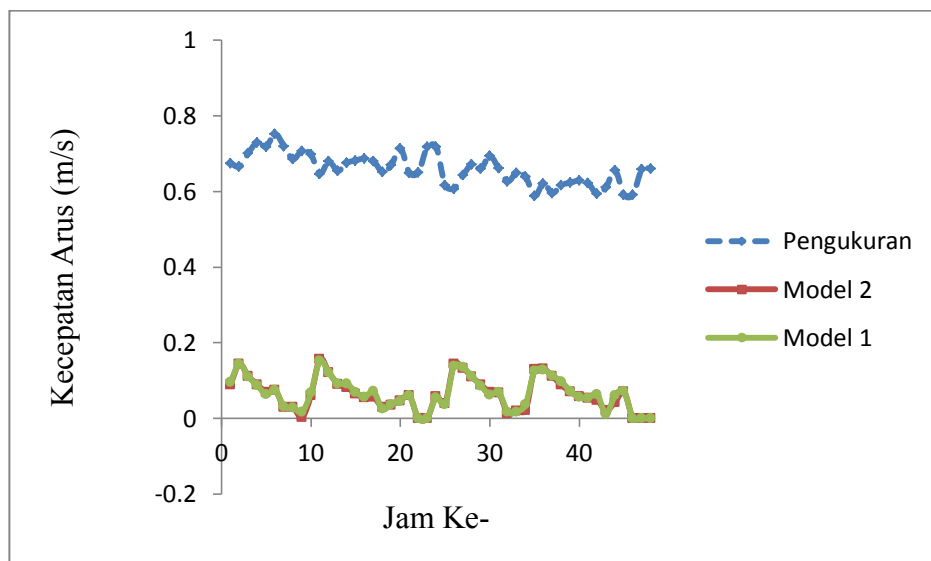
Tabel 4.3 Hasil Kalibrasi kecepatan arus di sekitar area PLTU Grati

No	Lokasi	RMSE		Persentase Kesalahan (%)	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
1	Tengah kanal	0.5967	0.5980	41.43	41.38
2	Utara kanal	0.2503	0.1663	13.01	4.79
3	Timur kanal	0.2941	0.2136	18.38	14.82
4	Barat kanal	0.2760	0.2430	26.38	20.35

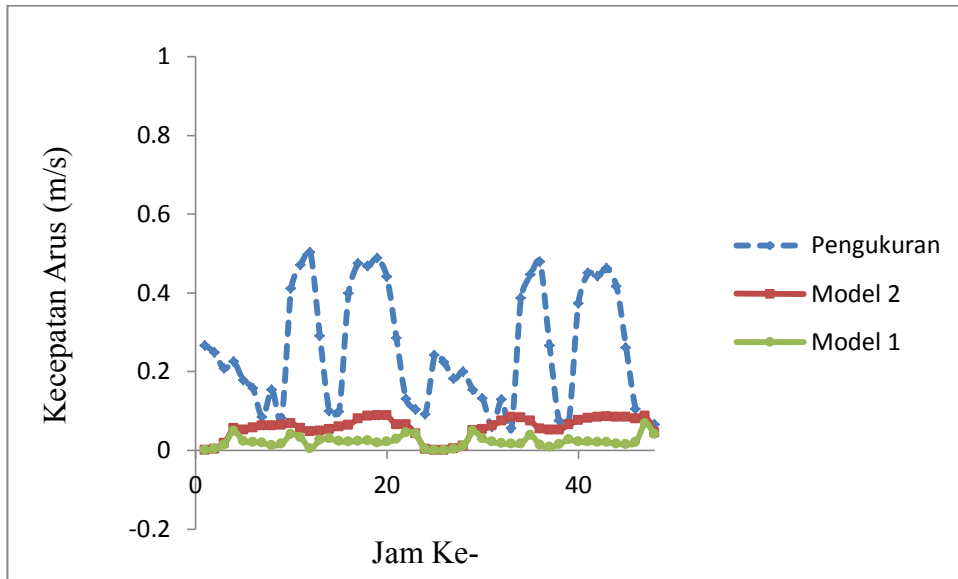
Untuk lebih jelasnya mengenai perbandingan hasil pengukuran kecepatan arus dan hasil simulasi dapat dilihat pada grafik perbandingan antara hasil pengukuran kecepatan arus dan model dari MIKE 21 *Hidrodynamic module* (HD) sebagai berikut :



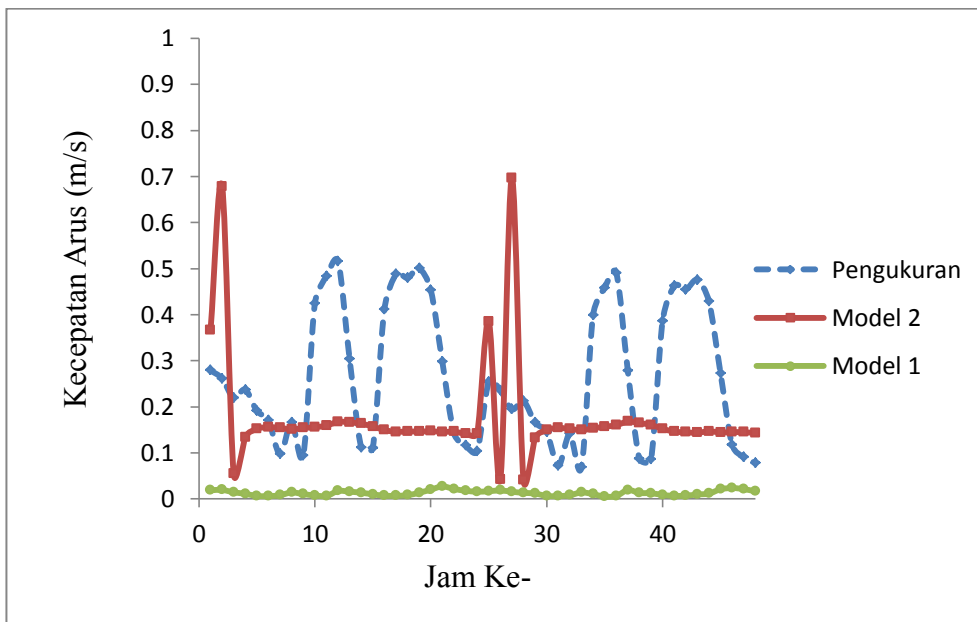
Gambar 4.9 Hasil kalibrasi kecepatan arus di utara kanal PLTU Grati



Gambar 4.10 Hasil kalibrasi arus di tengah kanal PLTU Grati



Gambar 4.11 Hasil kalibrasi arus di barat kanal PLTU Grati



Gambar 4.12 Hasil kalibrasi arus di timur kanal PLTU Grati

Dari hasil kalibrasi kecepatan arus terlihat bahwa di area tengah kanal memiliki tingkat ketidaksesuaian yang paling besar dibandingkan dengan area lainnya. Hal ini dikarenakan pada area ini, kecepatan arus

dalam pengukuran sangat susah dilakukan dengan tepat akibat pengaruh arus dari inlet. Dari hasil kalibrasi pada seluruh area, model 2 menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik dengan kondisi lapangan. Area di sebelah utara pada model 2 memiliki tingkat kesesuaian yang paling baik. Dari hasil kalibrasi ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa model 2 lebih mewakili kondisi lapangan daripada model 1, sehingga model 2 akan digunakan untuk pembahasan selanjutnya mengenai analisa Model hidrodinamika dan sand transport .

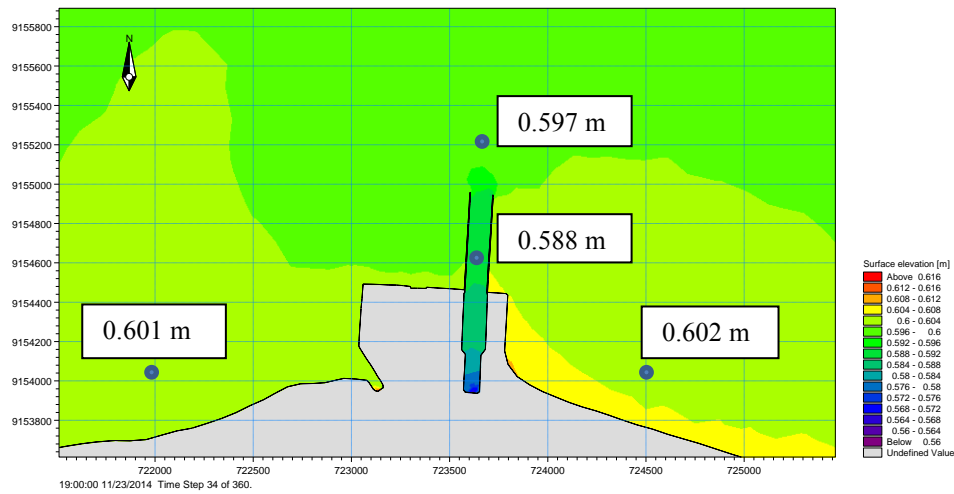
4.1.2.3 Model Hidrodinamika

Model hidrodinamika dalam MIKE 21 menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *Boundary condition*. Hasil model yang diamati adalah model 2 karena menggunakan *input* yang lebih kompleks yaitu arus dan gelombang. Sedangkan untuk model 1 nantinya akan digunakan dalam analisa tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar. Tinjauan hasil model hidrodinamika yang akan dibahas meliputi hasil pemodelan pasang surut dan kecepatan arus di sekitar kanal *water intake* PTGU Grati. Kondisi yang dilihat yaitu saat sebelum pasang, pasang tertinggi, sebelum surut dan pada saat surut terendah.

- **Analisa Muka Air Laut**

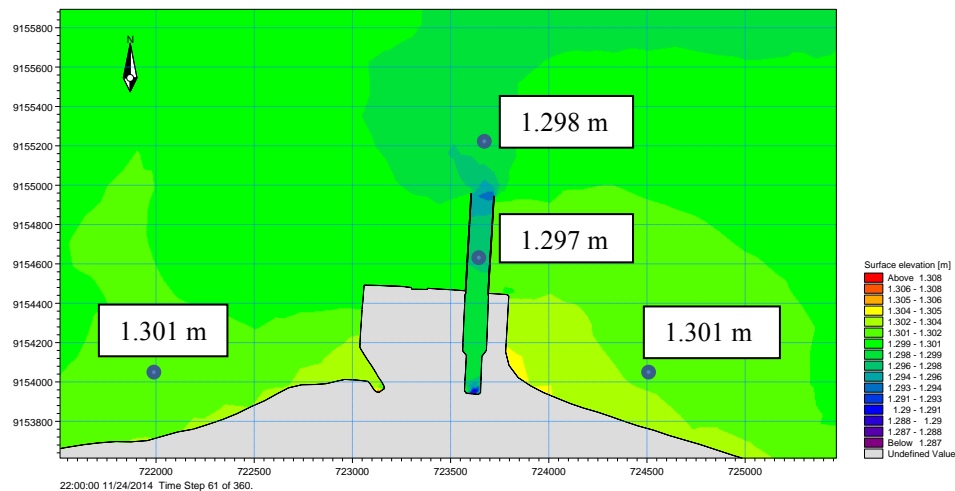
Untuk melihat perubahan muka air laut yang terjadi, maka akan ditinjau kondisi saat menuju pasang, pasang tertinggi, menuju surut dan surut terendah. Kondisi ini ditinjau berdasarkan dari 4 titik area yaitu di sebelah utara, tengah, timur dan barat kanal PLTGU Grati. Untuk hasil simulasi muka air laut selama 15 hari dapat dilihat pada gambar berikut :

✓ **Kondisi menuju pasang**



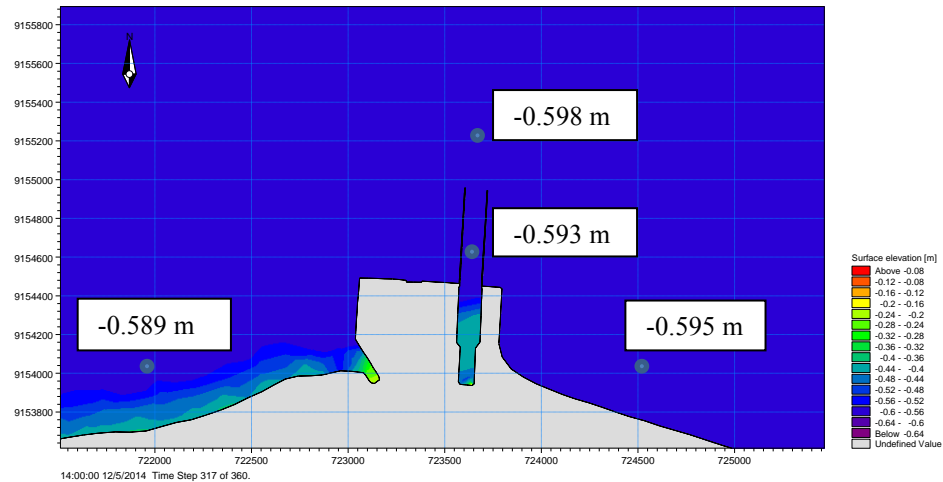
Gambar 4.13 Pemodelan muka air laut pada saat menuju pasang di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat pasang tertinggi**



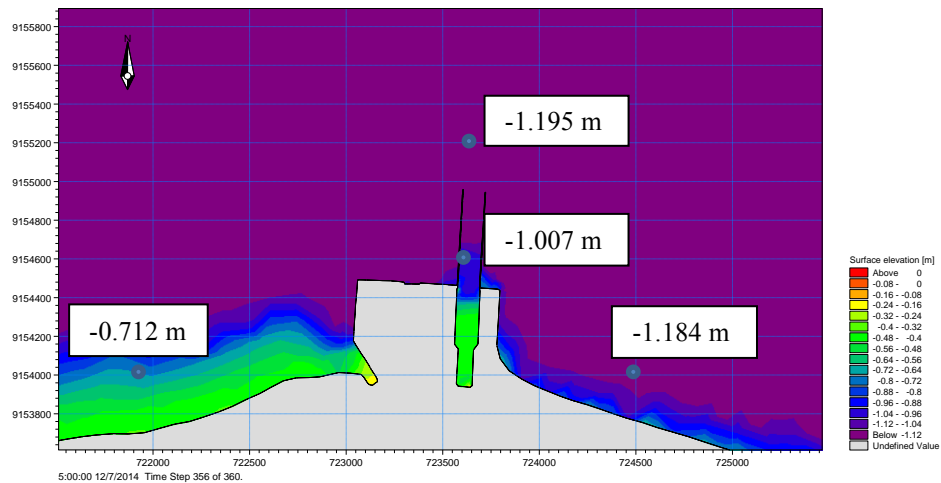
Gambar 4.14 Pemodelan muka air laut pada saat pasang tertinggi di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat menuju surut**



Gambar 4.15 Pemodelan muka air laut pada saat menuju surut di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat surut terendah**



Gambar 4.16 Pemodelan muka air laut pada saat surut terendah di area PLTU Grati

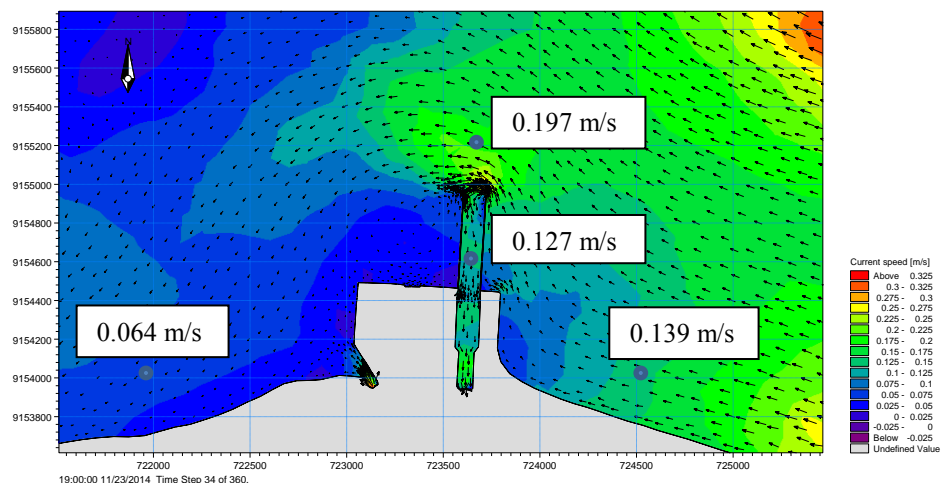
Berdasarkan hasil pemodelan muka air laut di sekitar area PLTU Grati terlihat bahwa pada saat pasang tertinggi terjadi peningkatan muka air laut yang hampir sama pada setiap titik. Acuan muka air laut dalam simulasi ini menggunakan *Mean Sea Level* (MSL). Titik pasang tertinggi berada disebelah

barat dan timur kanal. Perbedaan antara pasang tertinggi dan surut terendah nantinya akan mempengaruhi kecepatan arus dan proses transportasi sedimen. Dalam analisa pasang surut ini, titik yang mengalami pasang tertinggi tidak ikut serta menjadi titik surut terendah, karena titik surut terendah yang ditinjau berada di sebelah utara kanal.

- **Analisa Kecepatan arus**

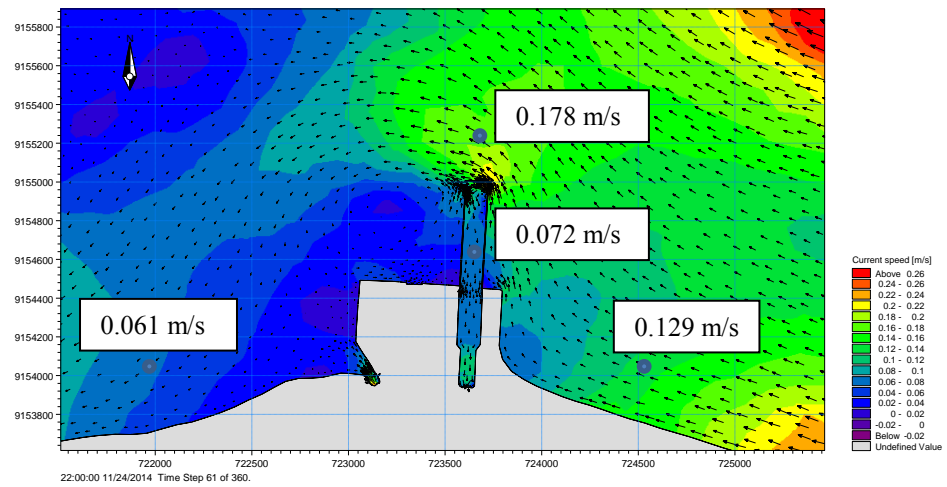
Kondisi kecepatan arus yang dianalisa dilihat melalui hubungan pasang surut dan diambil beberapa titik pengamatan untuk memperjelas perubahan yang terjadi. Untuk hasil simulasi kecepatan arus selama 15 hari dapat dilihat pada gambar berikut:

✓ **Kondisi saat menuju pasang**



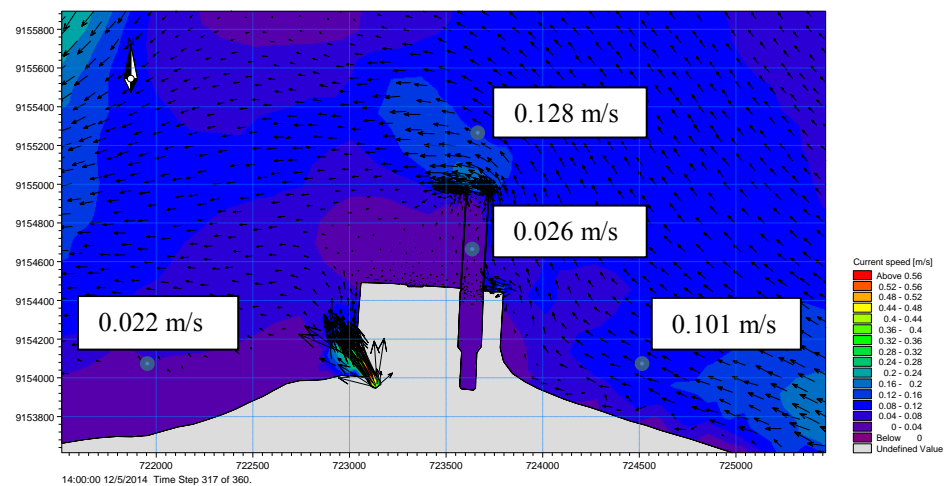
Gambar 4.17 Pemodelan kecepatan arus pada saat menuju pasang di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat pasang tertinggi**



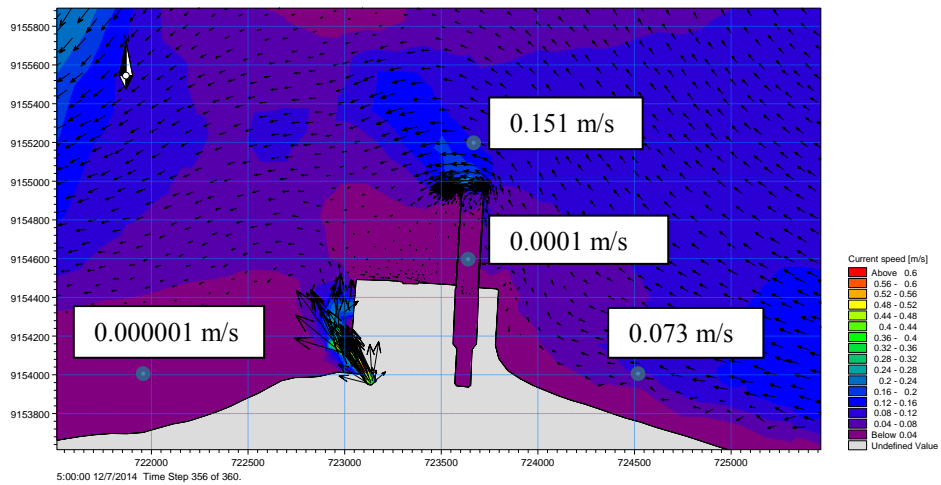
Gambar 4.18 Pemodelan kecepatan arus pada saat pasang tertinggi di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat menuju surut**



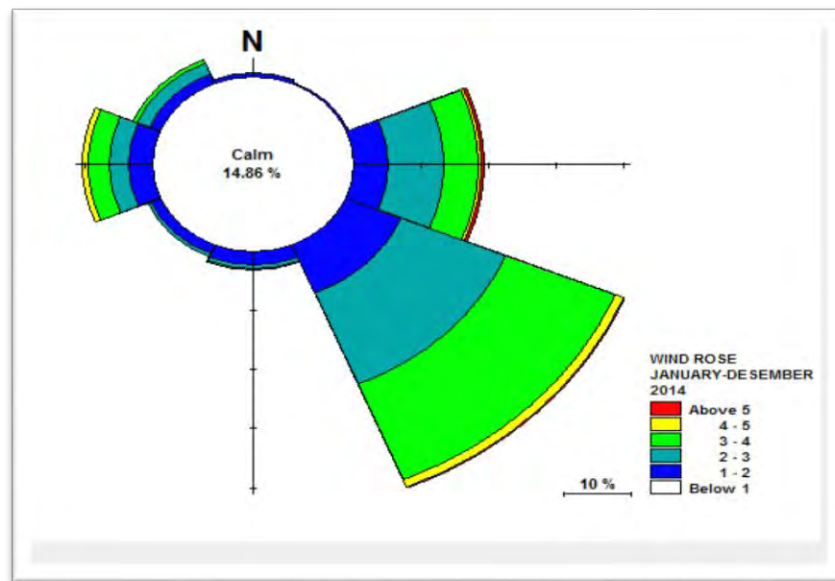
Gambar 4.19 Pemodelan kecepatan arus pada saat menuju surut di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat surut terendah**



Gambar 4.20 Pemodelan kecepatan arus pada saat surut terendah di area PLTU Grati

Berdasarkan hasil pemodelan kecepatan arus, terlihat bahwa pergerakan arus dominan terjadi dari arah tenggara. Hal ini diakibatkan oleh faktor dari arah angin dominan yang bertiup dari arah tenggara seperti yang terlihat pada gambar 4.21. Dari kondisi tersebut, kemungkinan arah sedimen yang terbawa arus dari arah timur kanal akan lebih dominan daripada sedimen dari arah barat. Dari hasil tiap kondisi pasang surut juga terlihat bahwa pada area tengah dan barat kanal mempunyai kecepatan arus yang kecil, sehingga akan menyebabkan sedimen akan terakumulasi pada daerah ini. Pada area utara kanal memiliki kecepatan arus yang tinggi dikarenakan pada area ini pengaruh gelombang lebih besar dari area lainnya.

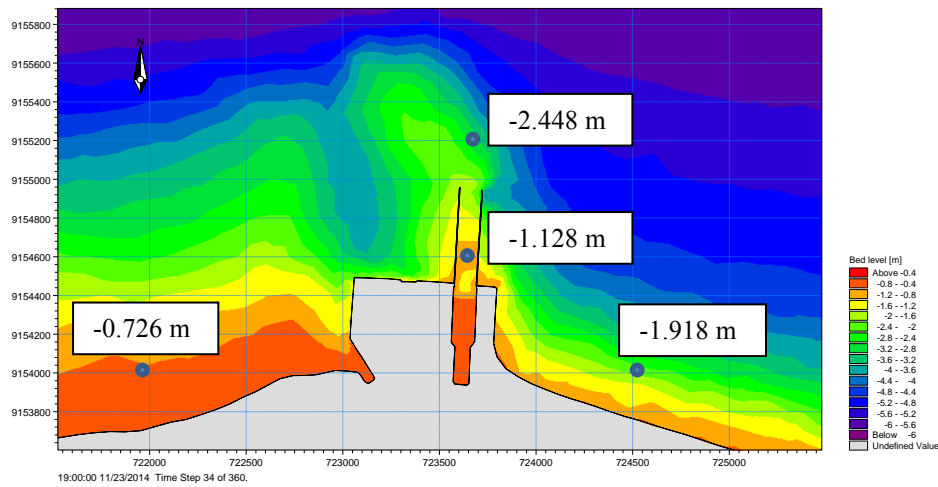


Gambar 4.21 Diagram mawar angin selama 1 tahun di area PLTU Grati

4.1.2.4 Model Sand Transport

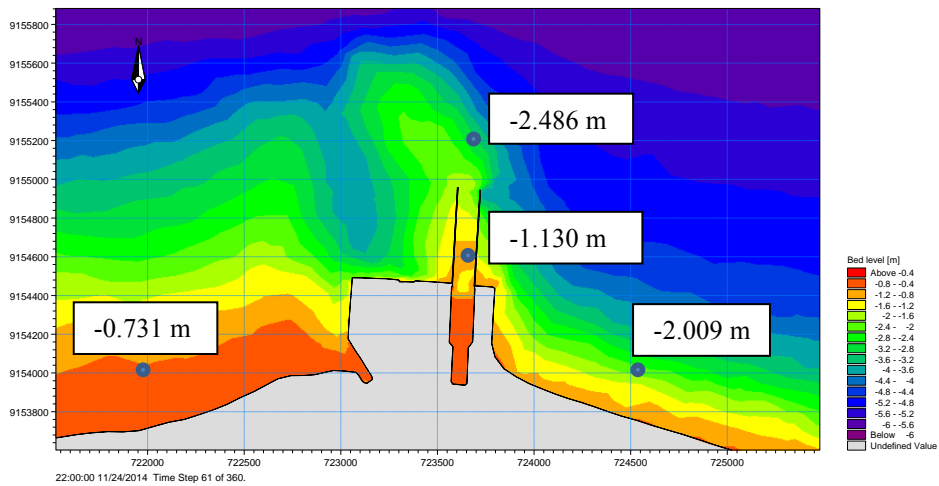
Dalam tesis ini, Model *sand transport* berfungsi untuk menginterpretasikan kondisi dasar (*bed*) di sekitar area kanal water intake PLTGU Grati akibat sedimen *non-kohefif*. Dengan mengetahui kondisi dasar (*bed*), maka akan diketahui daerah yang akan mengalami sedimentasi maupun erosi. Dalam pemodelan ini, output yang akan dibahas yaitu mengenai kondisi dasar (*bed level*) dan perubahan dasar (*bed level change*) dengan memperhatikan kondisi saat menuju pasang, pasang tertinggi, menuju surut, dan pada saat surut terendah. Untuk hasil simulasi kondisi dasar (*bed level*) selama 15 hari dapat dilihat pada gambar berikut:

- Analisa kondisi dasar (*bed level*)
- ✓ Kondisi saat menuju pasang



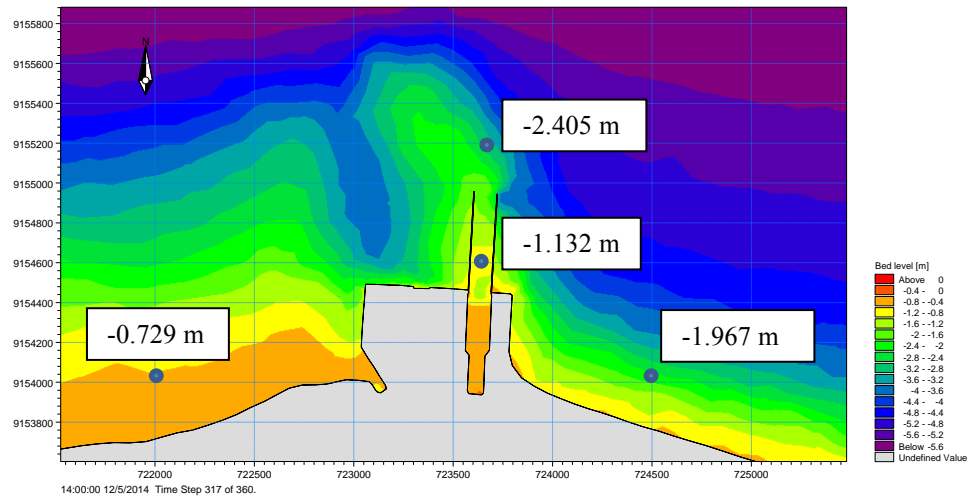
Gambar 4.22 Pemodelan *bed level* pada saat menuju pasang di area PLTU Grati

- ✓ Kondisi saat pasang tertinggi



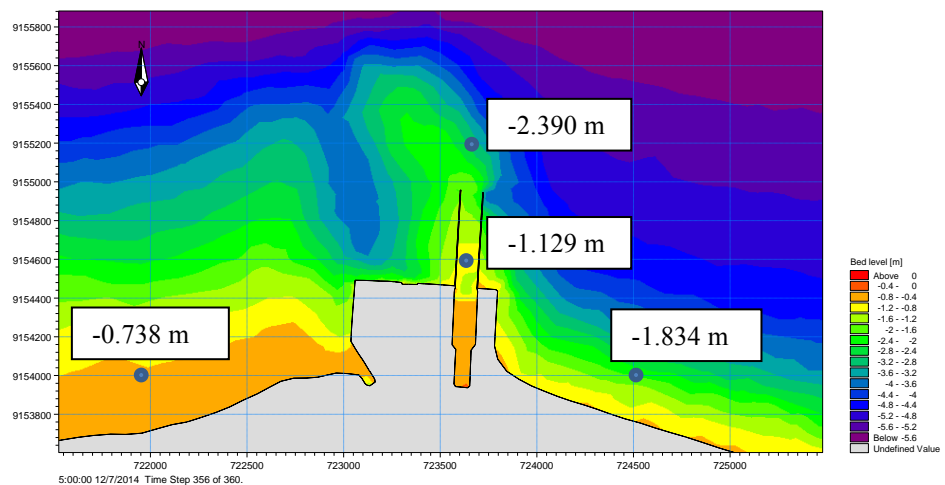
Gambar 4.23 Pemodelan *bed level* pada saat pasang tertinggi di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat menuju surut**



Gambar 4.24 Pemodelan *bed level* pada saat menuju surut di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat surut terendah**



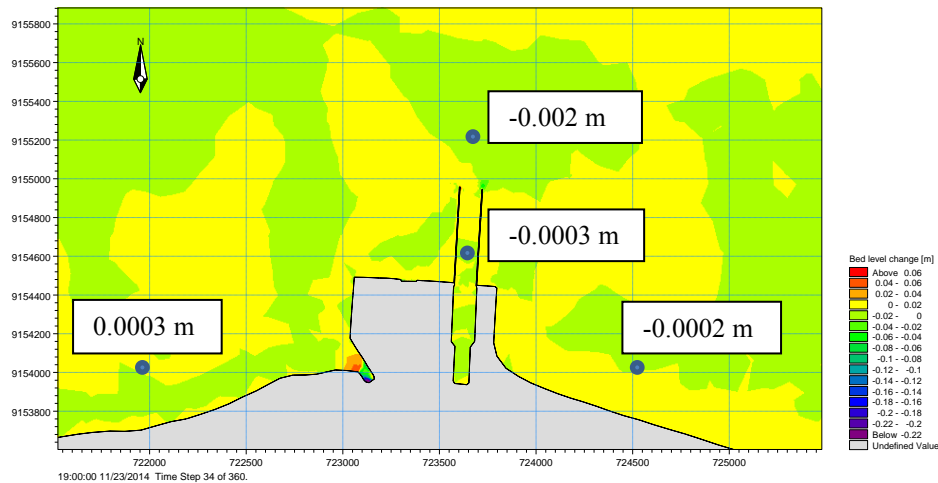
Gambar 4.25 Pemodelan *bed level* pada saat surut terendah di area PLTU Grati

Berdasarkan hasil pemodelan *bed level* dapat dilihat bahwa pada tiap kondisi pasang surut, *bed level* tidak mengalami perubahan yang signifikan, terutama pada area tengah kanal yang mengalami perubahan

dasar paling kecil pada saat pasang tertinggi dan surut terendah. Untuk melihat detail perubahan dasar (*bed*) yang terjadi, akan dianalisa juga hasil output *bed level change* dari model *sand transport* sebagai berikut :

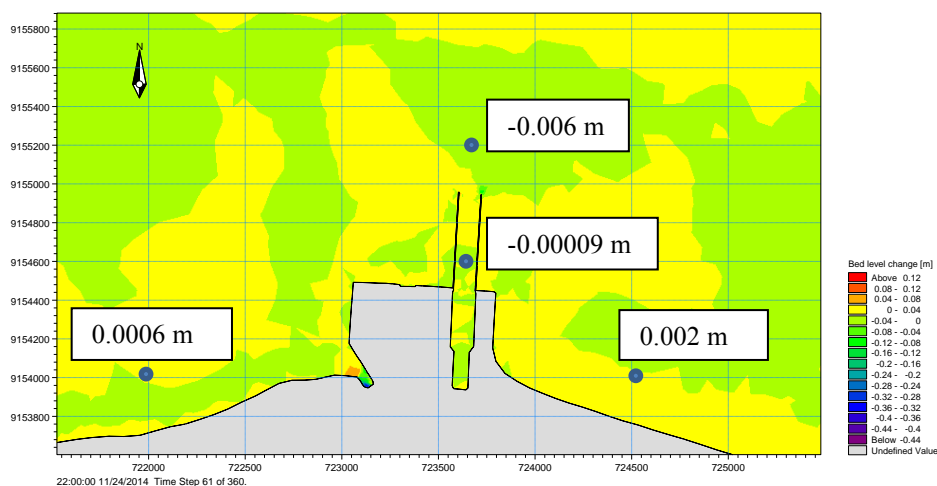
- Analisa perubahan dasar (*bed level change*)

- ✓ Kondisi saat menuju pasang



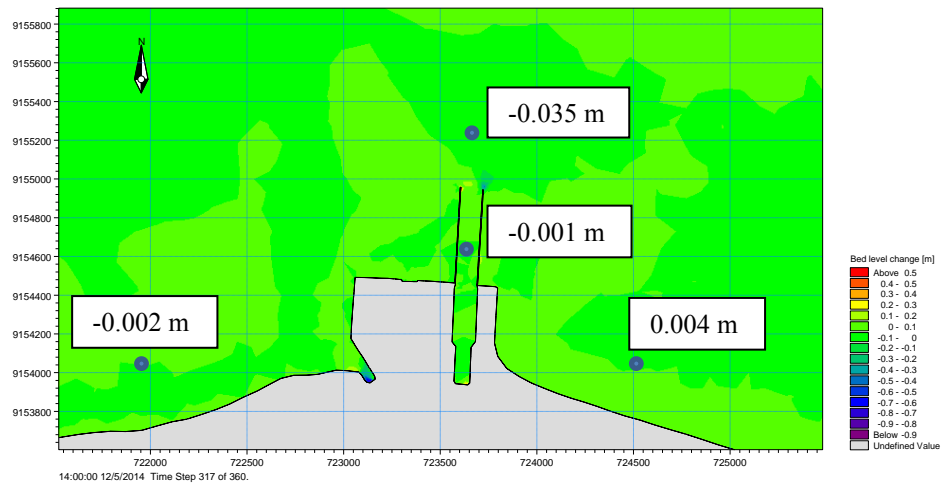
Gambar 4.26 Pemodelan *bed leve Change* pada saat menuju pasang di area PLTU Grati

- ✓ Kondisi saat pasang tertinggi



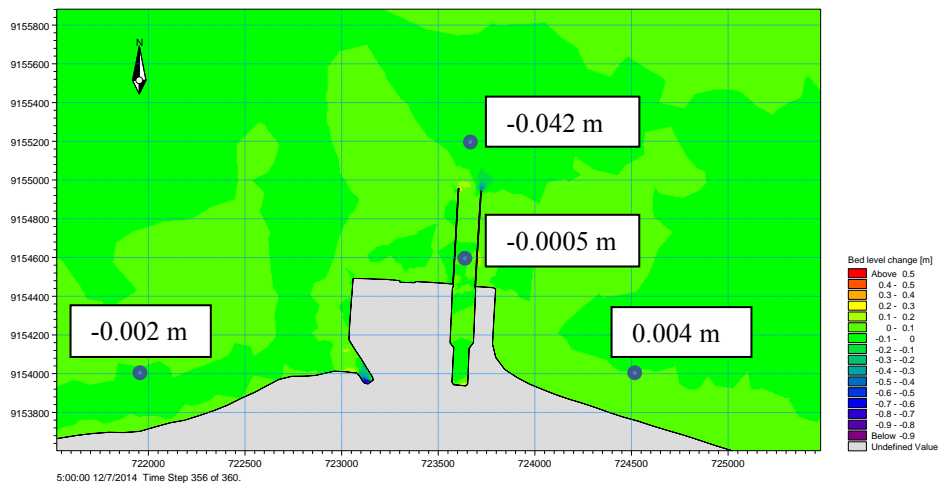
Gambar 4.27 Pemodelan *bed leve Change* pada saat pasang tertinggi di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat menuju surut**



Gambar 4.28 Pemodelan *bed leve Change* pada saat menuju surut di area PLTU Grati

✓ **Kondisi saat surut terendah**



Gambar 4.29 Pemodelan *bed leve Change* pada saat surut terendah di area PLTU Grati

Dari pemodelan *bed level change* dapat diketahui bahwa perubahan profil dasar yang terjadi di sekitar kanal pada PLTGU Grati tidak terlalu besar. Dari hasil tiap kondisi pasang surut, terlihat bahwa pada saat menuju pasang tertinggi terjadi sedimentasi di area sebelah barat dan timur kanal. Kondisi ini berlanjut pada saat menuju surut, terutama pada daerah sebelah timur kanal PLTGU Grati. Pada daerah utara kanal cenderung mengalami erosi, baik itu saat kondisi pasang maupun saat kondisi surut. Hal ini kemungkinan disebabkan pada arah arus maupun gelombang yang mengarah ke kanal, sehingga pada ujung kanal terjadi sedimentasi.

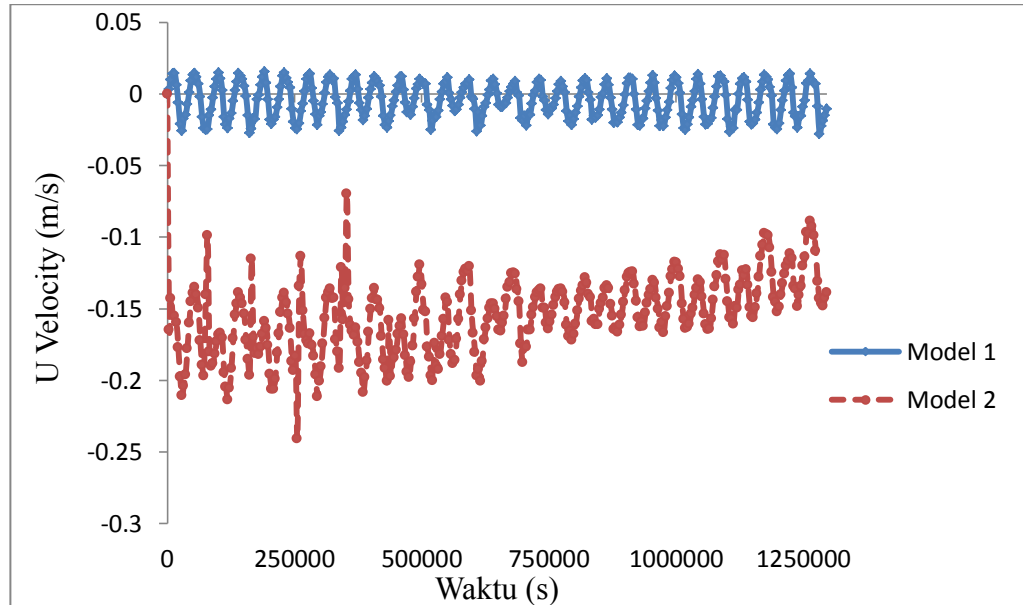
4.2. Analisa Tegangan Geser Dasar

Tegangan geser dasar merupakan suatu parameter penting yang berhubungan dengan berpindahnya sedimen dari suatu tempat akibat pengaruh dari arah aliran yang terjadi. Secara umum tegangan geser dasar adalah kemampuan tanah atau butiran tanah dalam menahan tekanan yang diakibatkan oleh suatu aliran baik itu akibat arus maupun gelombang dan mempertahankannya dalam suspensi (melayang). Tegangan geser dasar sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran dan kondisi *bed* (dasar).

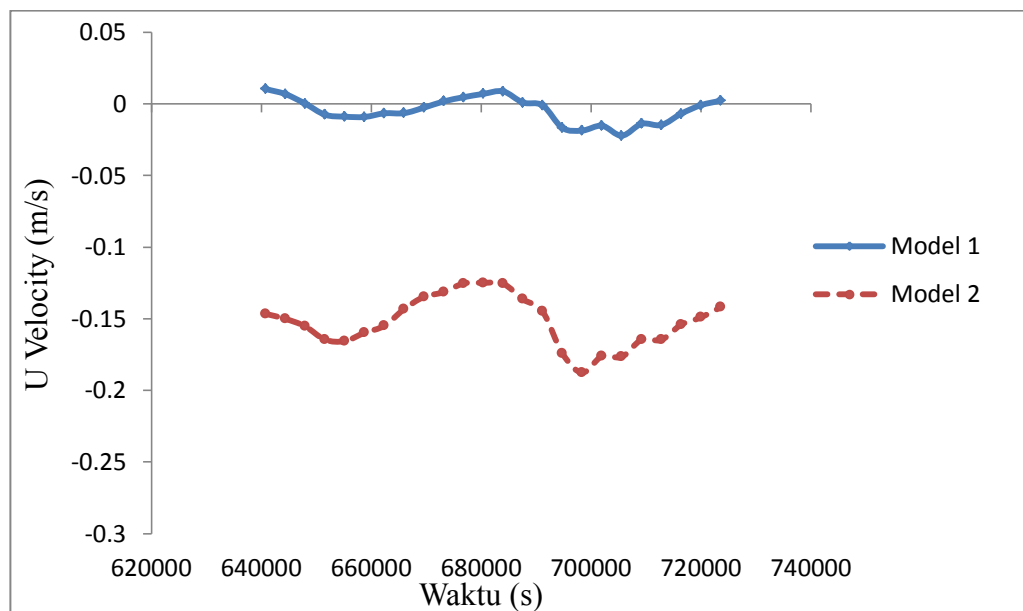
Dalam tesis, kondisi aliran yang ditinjau berdasarkan *U velocity* ke arah *x* dari hasil simulasi model MIKE 21 (model 1 dan model 2). *U velocity* yang digunakan dalam analisa tegangan geser dasar merupakan data *time series* hasil ekstrak dari modul hidrodinamika pada beberapa titik yaitu pada utara kanal, tengah kanal, timur kanal dan barat kanal. Plot grafik yang digunakan berdasarkan kurun waktu 15 hari simulasi dan kurun waktu 1 hari pada bagian tengah waktu simulasi. Hal ini dilakukan untuk meninjau lebih jelas perbedaan *u velocity* dari kedua model yang telah disimulasikan. Untuk hasil simulasi *u velocity* pada model 1 dan 2 dapat dilihat pada gambar berikut :

4.2.1 Perbandingan U velocity di Sekitar Kanal

✓ Utara Kanal

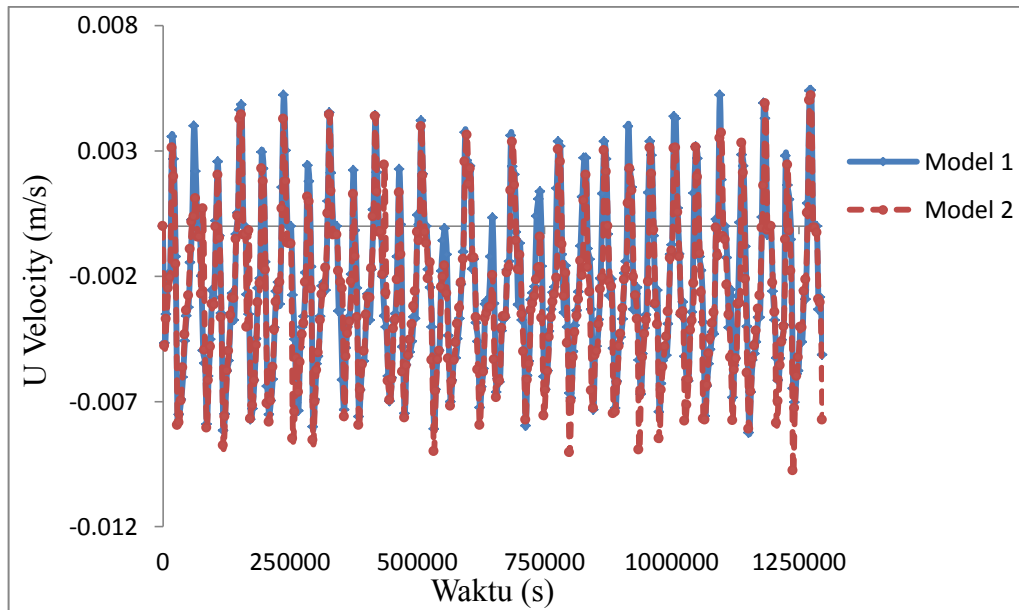


Gambar 4.30 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 15 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati

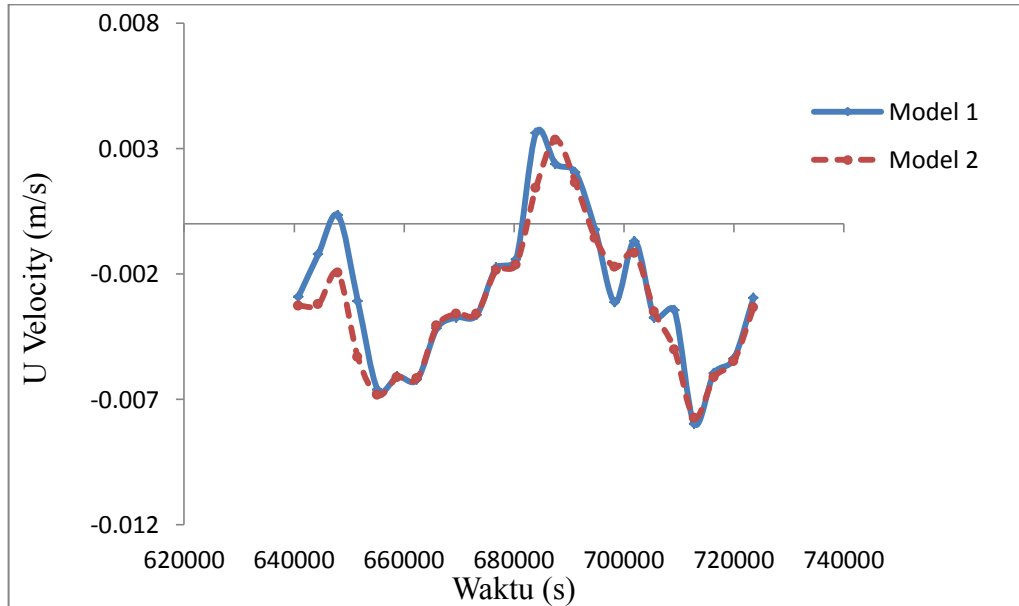


Gambar 4.31 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 1 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati

✓ **Tengah Kanal**

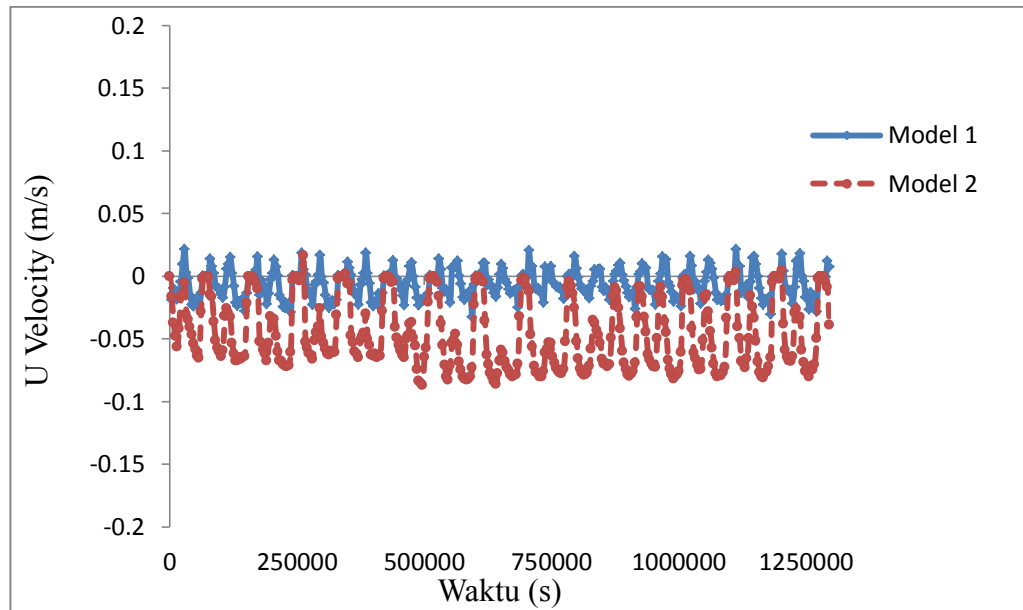


Gambar 4.32 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 15 hari di tengah kanal PLTU Grati

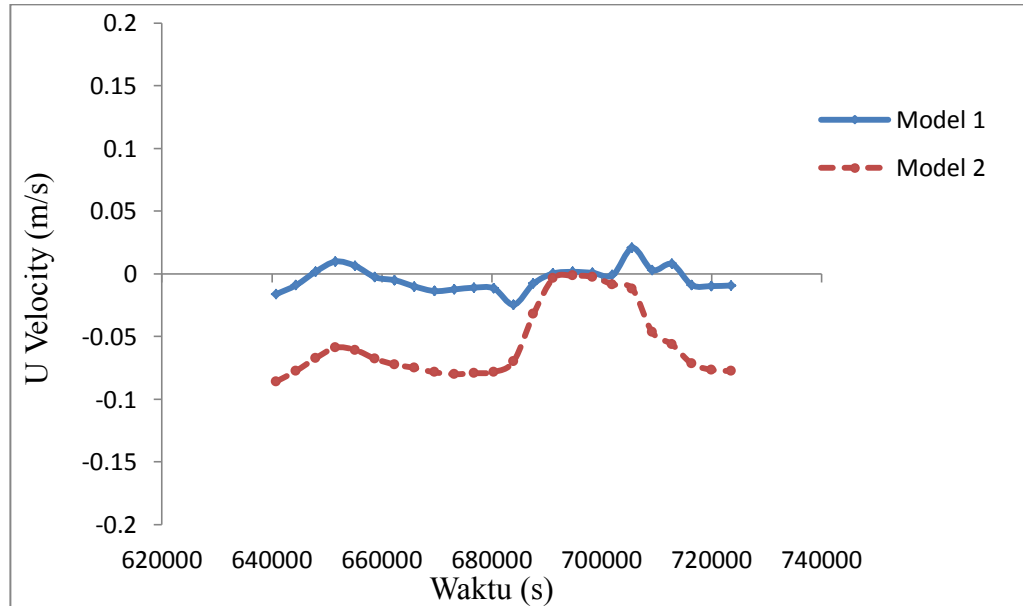


Gambar 4.33 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 1 hari di tengah kanal PLTU Grati

✓ **Barat Kanal**

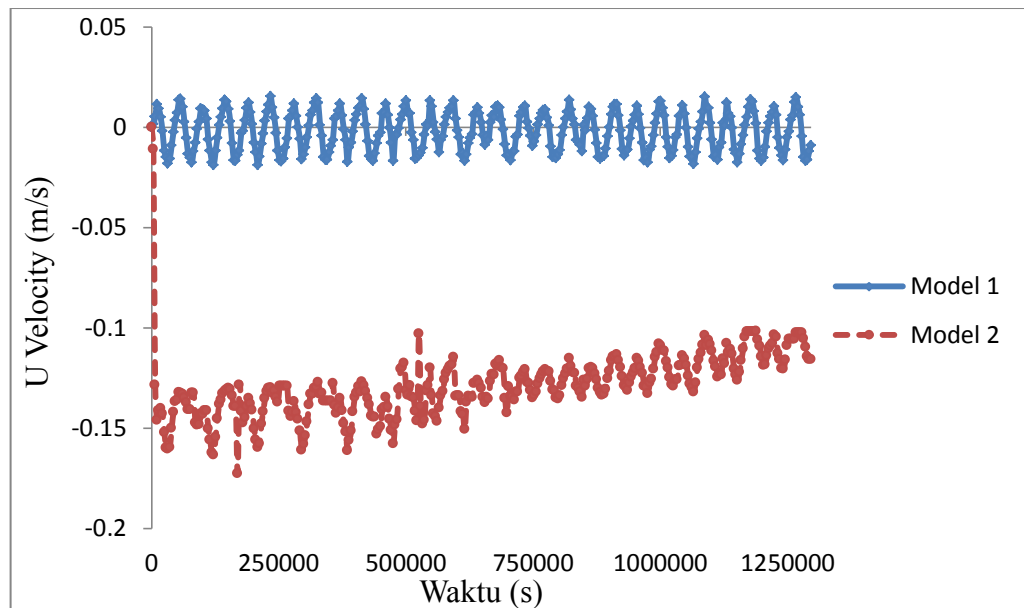


Gambar 4.34 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 15 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati

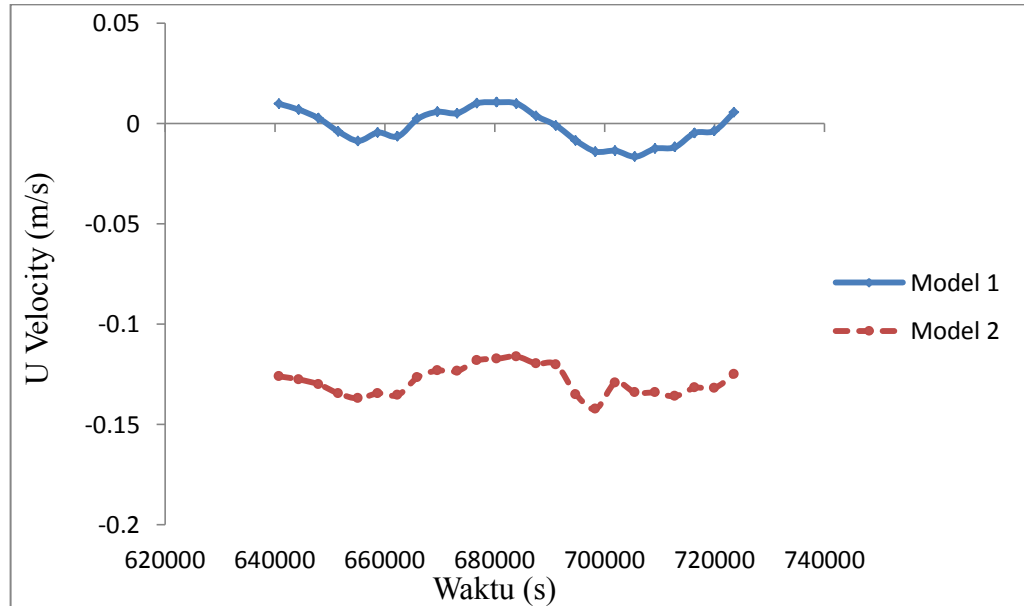


Gambar 4.35 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 1 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati

✓ **Timur Kanal**



Gambar 4.36 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 15 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati



Gambar 4.37 Perbandingan hasil simulasi U velocity model MIKE 21 selama 1 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati

Berdasarkan hasil simulasi u *velocity* pada beberapa area, terlihat bahwa pada area tengah dan barat kanal menunjukkan hasil u *velocity* yang tidak berbeda jauh antara model 1 dan 2 . Hal ini dikarenakan pada area tersebut kondisi aliran tidak terlalu acak atau beraturan sehingga u *velocity* yang terjadi bersesuaian antara model 1 dan 2. Sedangkan pada daerah utara dan timur terdapat beberapa kondisi acak yang cukup signifikan pada awal simulasi namun berlanjut stabil di akhir simulasi. Selain itu juga dapat dilihat bahwa kecepatan aliran pada model 2 cenderung lebih besar dari model 1 sehingga penambahan efek gelombang pada simulasi mempengaruhi nilai dari u *velocity* yang dihasilkan.

4.2.2 Perhitungan Tegangan Geser Dasar

Dalam analisa tegangan geser dasar, terdapat 2 metode formula tegangan geser dasar yang akan ditinjau. **Metode 1** yaitu perhitungan tegangan geser dasar berdasarkan kecepatan gelombang harmonik. Persamaan ini diusulkan oleh Tanaka & Samad (2006). **Metode 2** yaitu persamaan tegangan geser berdasarkan gelombang irregular yang dimodifikasi dengan menggunakan perbedaan fase dan efek percepatan pada dasar kasar yang diusulkan oleh Suntoyo dkk (2008). Kedua metode ini dihitung menggunakan data u *velocity* dari model 1 dan 2 selama 15 hari. Perhitungan tegangan geser dasar yang dianalisa merupakan data *time series* dari beberapa titik yaitu di utara, tengah, barat dan timur kanal.

- **Metode 1**

Metode ini menjelaskan perhitungan tegangan geser dasar yang dihitung berdasarkan kecepatan gelombang harmonik. Tanaka & Samad (2006) mengusulkan koefisien friksi gelombang yang menjadi dasar dari perhitungan tegangan geser dasar. Sebelum menentukan koefisien friksi gelombang dicari nilai a_m yaitu perbandingan kecepatan maksimum gelombang dengan frekuensi angular ($2\pi/T$), sedangkan untuk tinggi kekasaran dasar (z_0) dihitung dengan persamaan $2.5(D_{50}/30)$. Setelah menentukan koefisien friksi berdasarkan rumus (2.7), kemudian dihitung tegangan geser dasar dengan persamaan (2.8). Perlu diingat bahwa tegangan geser dasar metode Tanaka & Samad (2006) dalam bentuk beda phase, sehingga nilai tegangan geser dasar dimulai pada nilai tertentu. Persamaan

beda phase yang digunakan seperti yang diusulkan oleh Tanaka dan Thu (1994) sebagai berikut :

$$\varphi_s = 42,4C^{0.153} \frac{1+0,00297C^{0.357}}{1+0,127C^{0.563}} \quad (4.1)$$

$$\varphi = 2\alpha\varphi_s \quad (4.2)$$

$$C = \frac{1}{k \sqrt{\frac{f_w a m}{2 z_o}}} \quad (4.3)$$

φ_s adalah beda fase antara *free stream* velocity dan tegangan geser dasar yang diusulkan sedangkan α adalah *skewness* parameter (Tp^*2/T). Nilai Koeifisien *roughness* (C) yang digunakan adalah untuk permukaan kasar.

Setelah nilai beda fase (φ) didapatkan, selanjutnya adalah menghitung pergeseran data yang terjadi dari total keseluruhan data *time series* yang digunakan dengan perbandingan ($N \times (\varphi \div 360)$).

- **Metode 2**

Metode tegangan geser dasar ini memodifikasi formula tegangan geser dasar yang diusulkan oleh Nielsen (2002) dengan menambahkan koefisien percepatan. Koefisien ini didapat dari hasil eksperimen menggunakan model BSL k-w untuk tegangan geser dasar. Sebelum mendapatkan nilai tegangan geser, terlebih dahulu mencari nilai kecepatan friksi gelombang (U_a). Nilai (U_a) ini ditentukan dengan menggunakan pendekatan rumus (2.10). Koefisien percepatan $a_c = 0.485$ berdasarkan hasil eksperimen untuk gelombang irregular.

Pada metode ini juga terdapat perbedaan fase pada $U(t)$, yang menunjukkan bahwa nilai $U(t)$ tidak dimulai dari data ke-0 melainkan dimulai dari hasil pergeseran data berdasarkan beda fase. Perhitungan beda fase dalam metode ini hampir sama seperti metode Tanaka dan Samad (2006), namun arah pergeseran data berkebalikan. Untuk metode Tanaka dan Samad (2006) arah pergeseran data ke belakang (-) sedangkan pada metode ini arah pergeseran

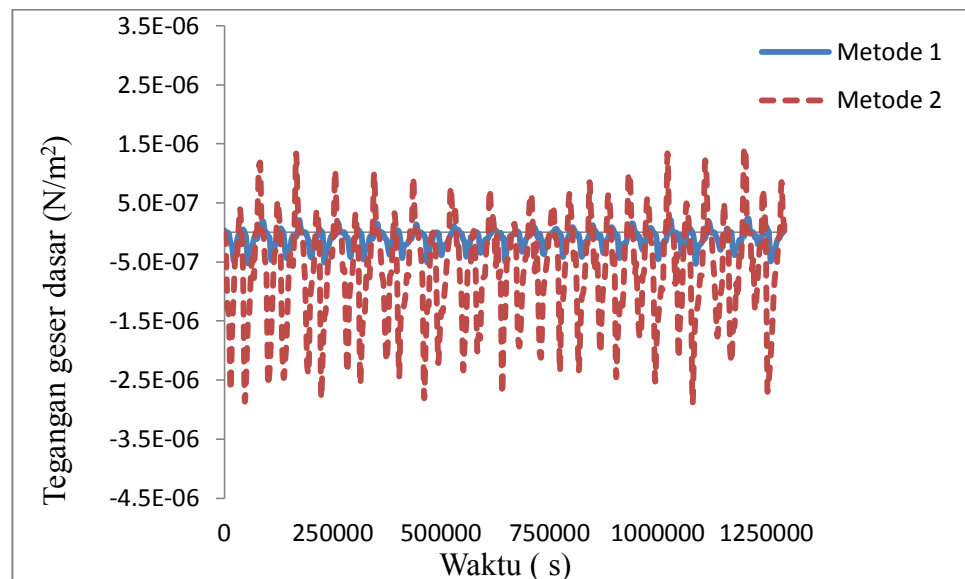
data ke depan (+). Proses perhitungan turunan pada formula tegangan geser dasar ini digunakan berdasarkan metode turunan secara numerik yaitu hampiran selisih pusat. Selanjutnya perhitungan tegangan geser dapat dilakukan menggunakan persamaan (2.9) .

4.2.3 Pengaruh arus dan gelombang terhadap tegangan geser dasar

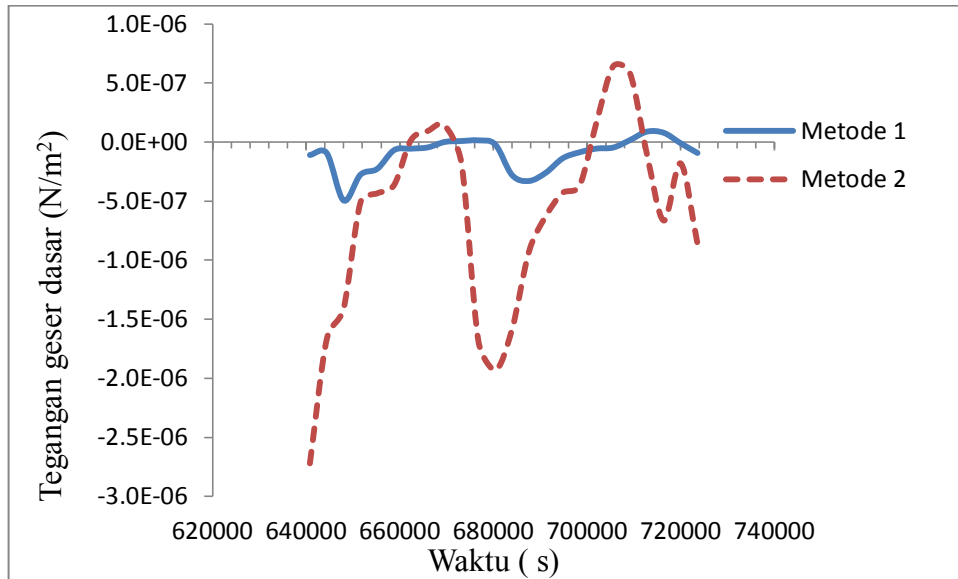
Dari hasil perhitungan tegangan geser dasar, selanjutnya dilakukan analisa tegangan geser dasar akibat arus maupun kombinasi arus dan gelombang. Untuk hasil perhitungan tegangan geser dasar pada tiap model dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

Model 1

✓ Tengah Kanal

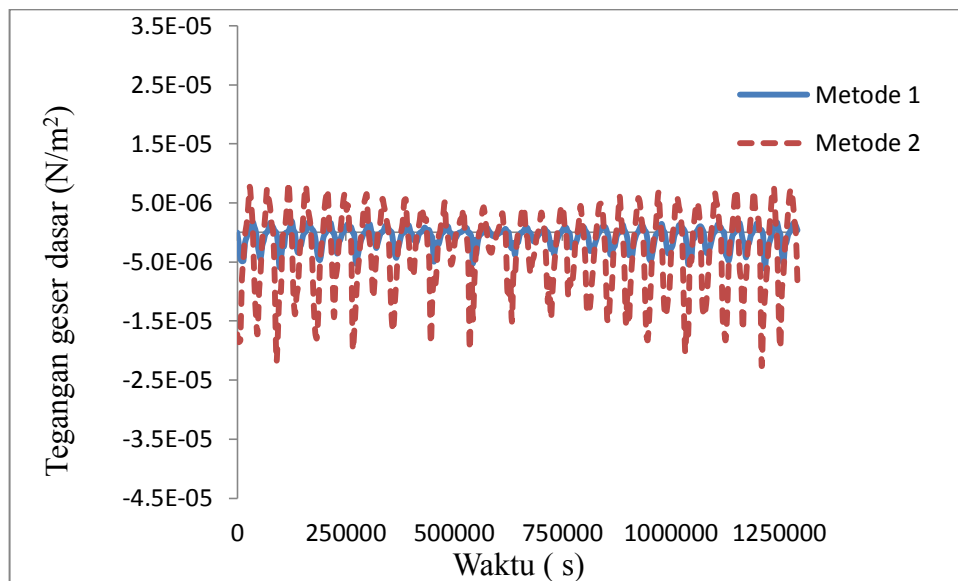


Gambar 4.38 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di tengah kanal PLTU Grati

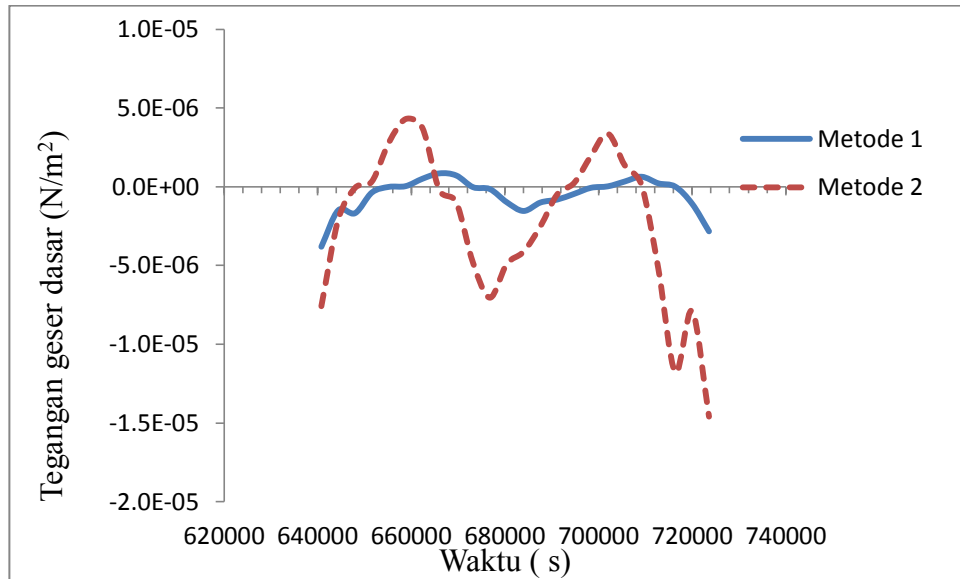


Gambar 4.39 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di tengah kanal PLTU Grati

✓ **Utara Kanal**

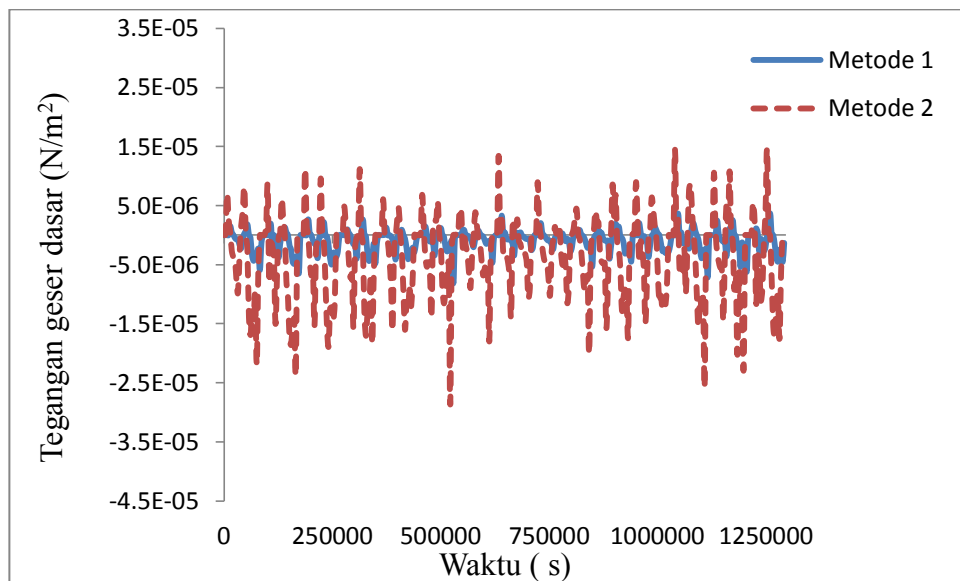


Gambar 4.40 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati

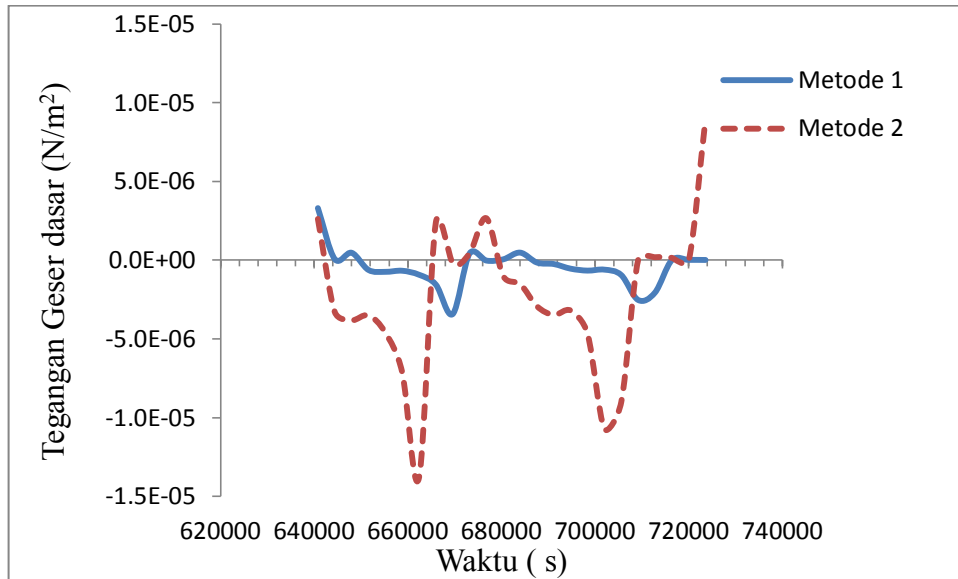


Gambar 4.41 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati

✓ **Barat Kanal**

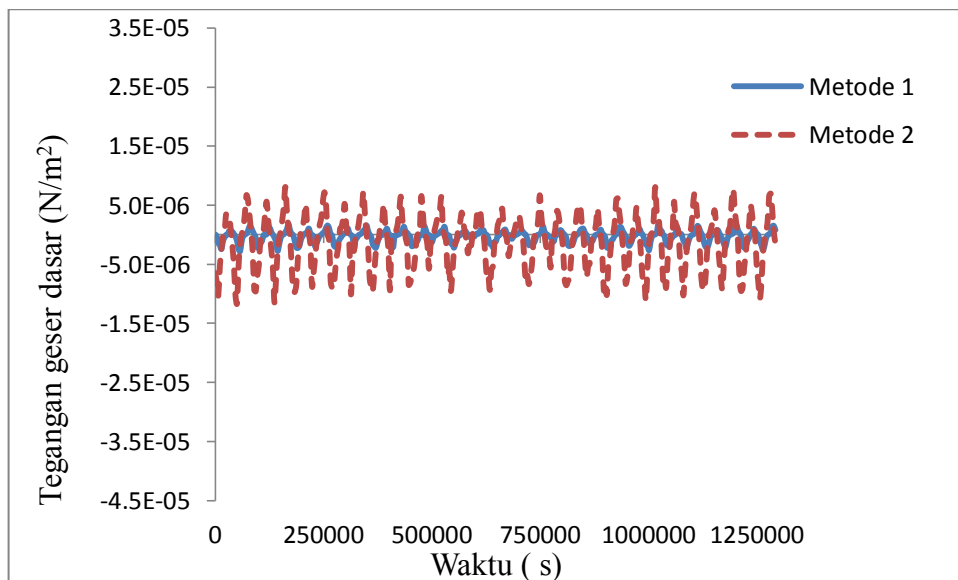


Gambar 4.42 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati

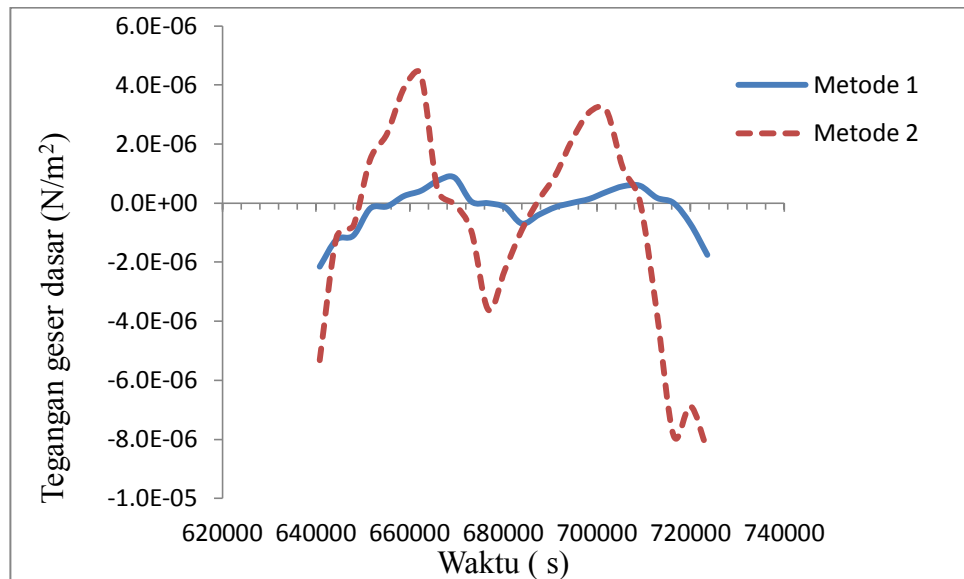


Gambar 4.43 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati

✓ **Timur Kanal**



Gambar 4.44 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati



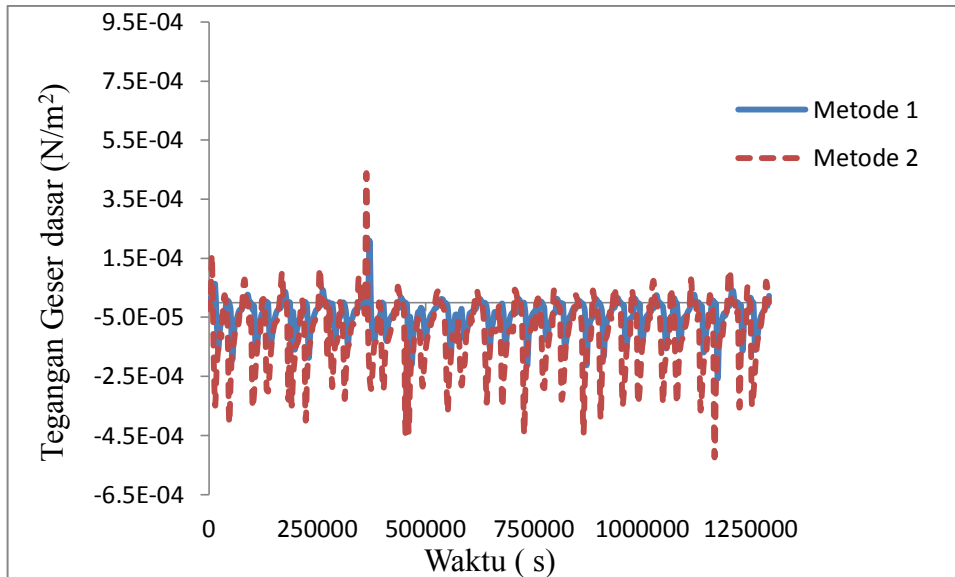
Gambar 4.45 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah timur PLTU Grati

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan geser dasar pada model 1, terlihat bahwa nilai tegangan geser dasar cenderung kecil dibandingkan dengan hasil dari model 2. Hal ini terutama terlihat pada metode 1 yang memberikan nilai tegangan geser yang kecil, dikarenakan pada formula metode 1 tidak mempertimbangkan efek percepatan dan akan cenderung menghasilkan nilai yang relatif kecil. Hasil dari tegangan geser ini nantinya akan digunakan dalam perhitungan transportasi sedimen dasar.

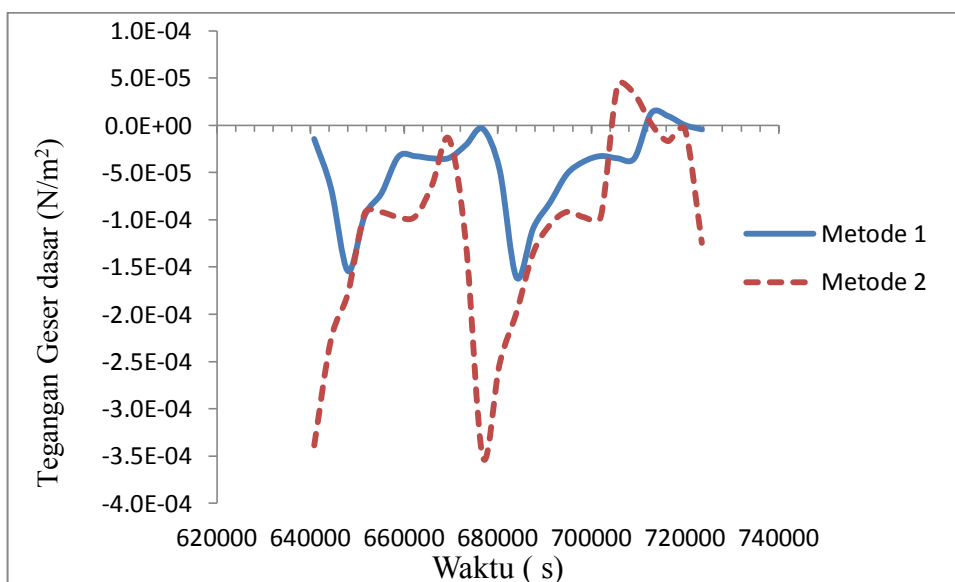
Hasil perhitungan tegangan geser dasar pada model 2 menunjukkan bahwa pola tegangan geser dasar tiap metode tidak berbeda jauh. Kondisi ini konsisten terjadi pada setiap titik pengamatan. Perbedaan rentang hasil tegangan geser dasar yang cukup signifikan terjadi pada daerah barat kanal PLTGU Grati, namun tingkat perbedaan yang dihasilkan masih sangat kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi pada metode 1 dan 2 masih dapat ditolerir dan dapat diaplikasikan untuk langkah selanjutnya dalam perhitungan transportasi sedimen dasar. Hasil perhitungan pada model 2 dapat dilihat pada gambar berikut:

Model 2

✓ Tengah kanal

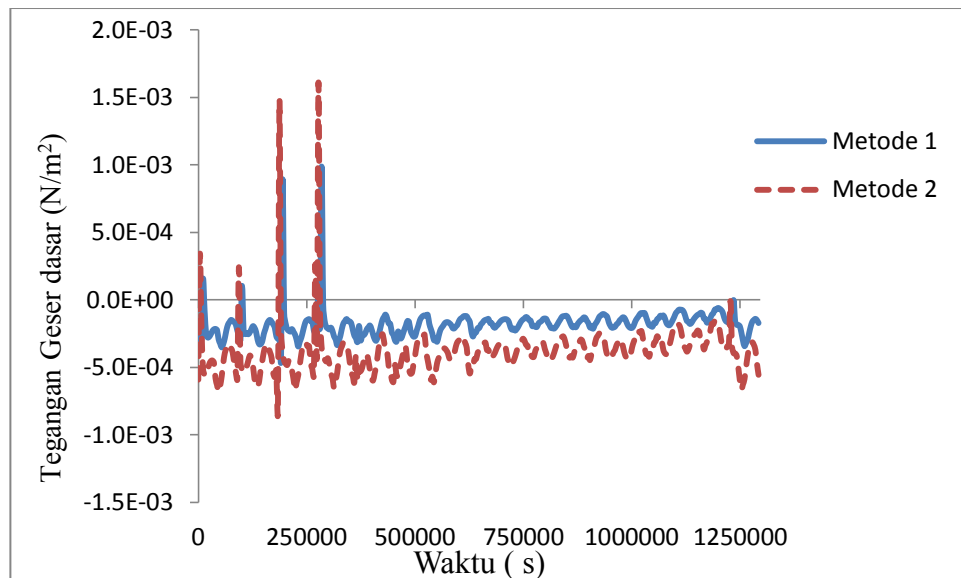


Gambar 4.46 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di tengah kanal PLTU Grati

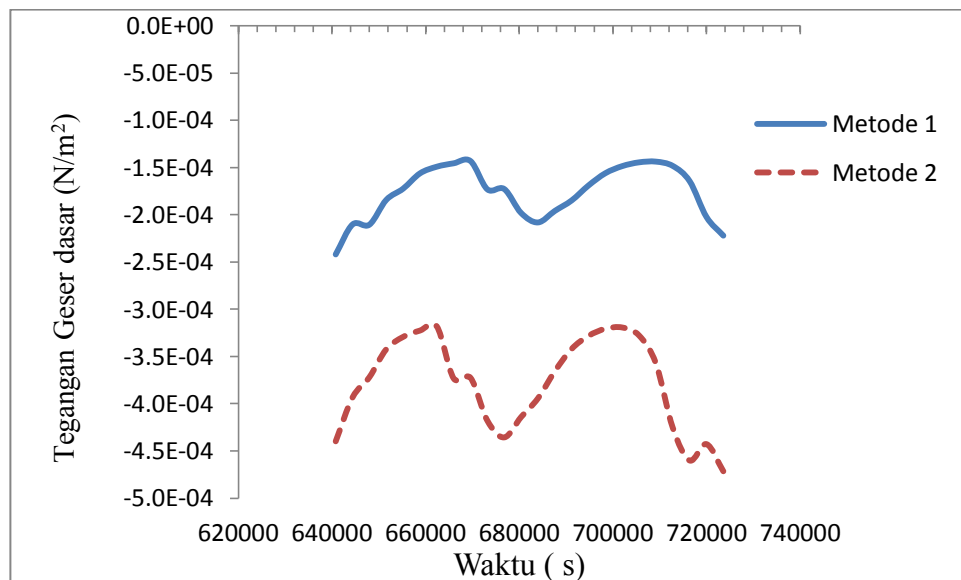


Gambar 4.47 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di tengah kanal PLTU Grati

✓ Utara kanal

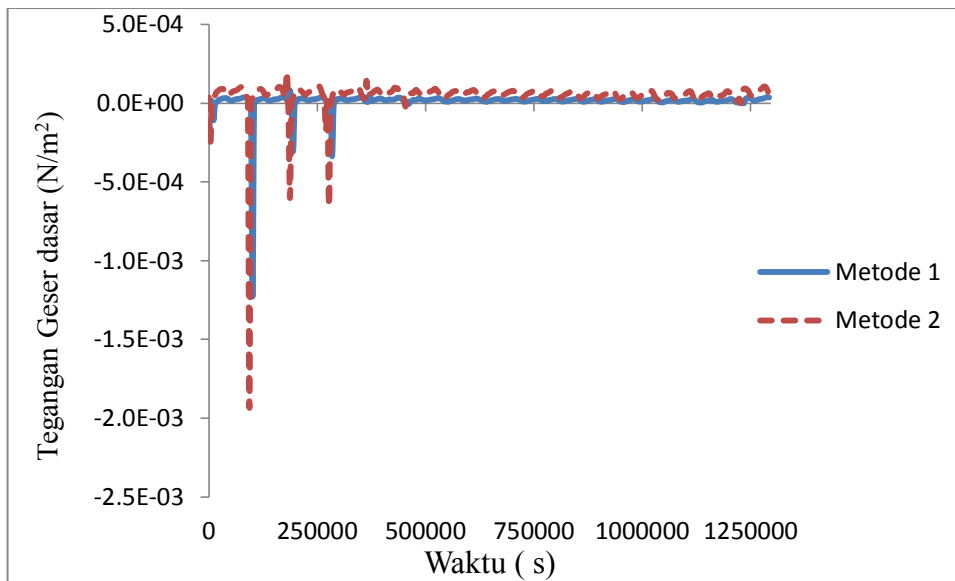


Gambar 4.48 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati

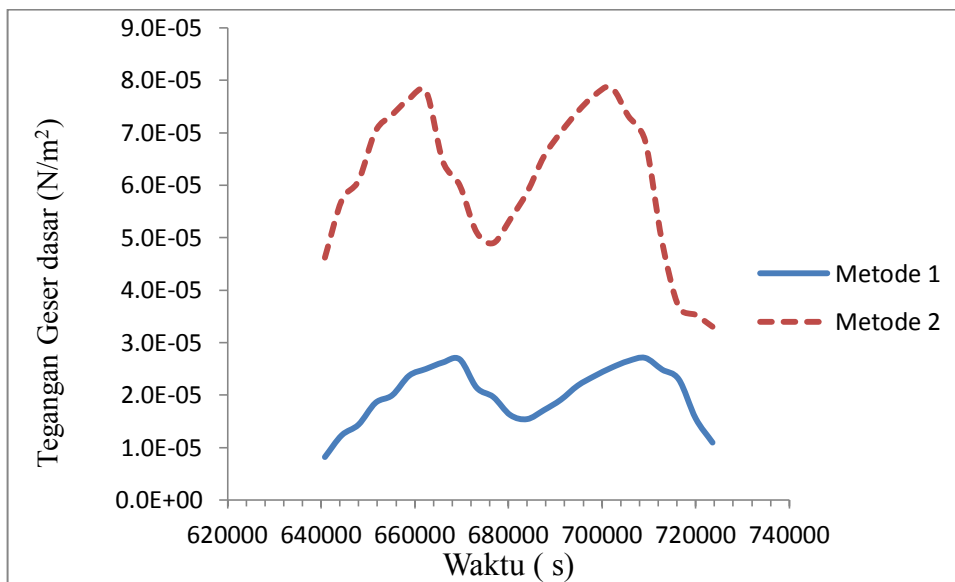


Gambar 4.49 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati

✓ **Timur kanal**

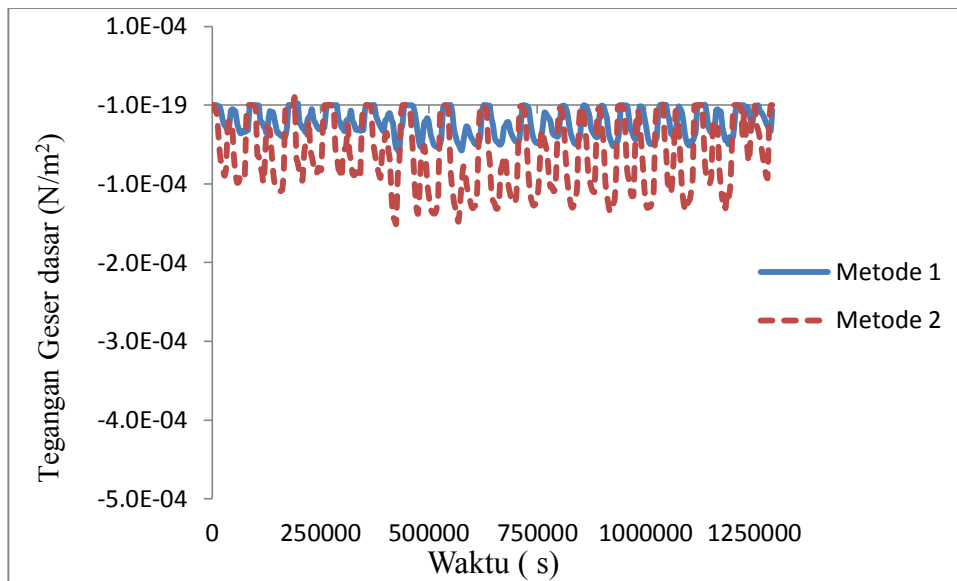


Gambar 4.50 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di sebelah timur PLTU Grati

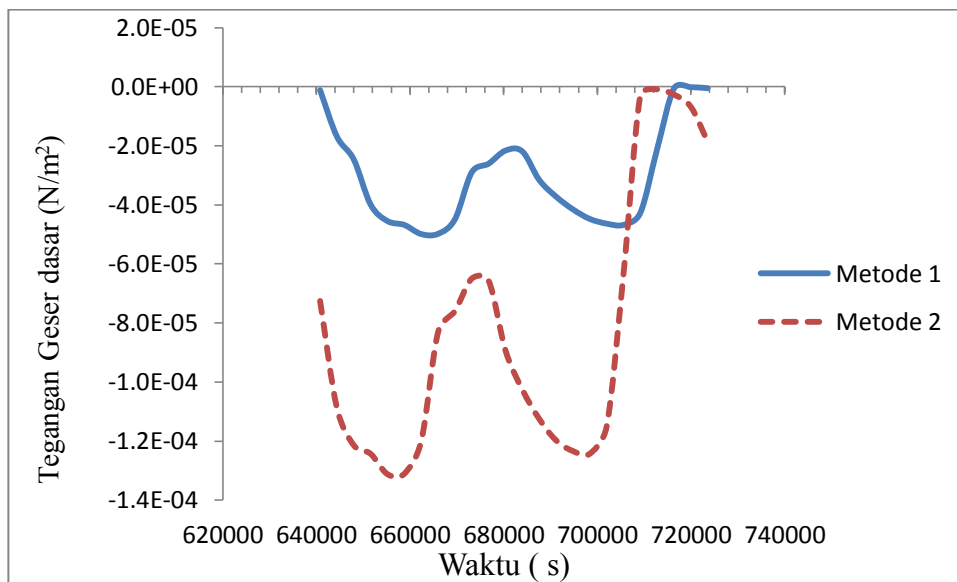


Gambar 4.51 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati

✓ **Barat kanal**



Gambar 4.52 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 15 hari di barat kanal PLTU Grati



Gambar 4.53 Perbandingan hasil tegangan geser dasar selama 1 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati

Untuk mengetahui lebih jelasnya mengenai pengaruh arus maupun gelombang terhadap tegangan geser dasar, dapat dilihat pada tabel 4.4 yang menunjukkan ringkasan tegangan geser dasar maksimum dan minimum dari tiap titik pengamatan. Dengan mengetahui tegangan geser dasar maksimum dan minimum ini, maka akan dapat memprediksi dimana dan berapa besar transportasi sedimen yang terjadi.

Tabel 4.4 Hasil Tegangan Geser Dasar Maksimum dan Minimum di area kanal PLTU Grati

Tengah Kanal					
No	Keterangan	Tegangan Geser (N/m ²)			
		Maximum		Minimum	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
1	Metode 1	5.28×10^{-07}	2.56×10^{-04}	6.91×10^{-14}	1.21×10^{-13}
2	Metode 2	4.10×10^{-06}	5.19×10^{-04}	7.86×10^{-12}	3.66×10^{-11}
Utara Kanal					
No	Keterangan	Tegangan Geser (N/m ²)			
		Maximum		Minimum	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
3	Metode 1	6.05×10^{-06}	9.87×10^{-04}	9.00×10^{-12}	2.11×10^{-06}
4	Metode 2	2.23×10^{-05}	1.61×10^{-03}	2.48×10^{-10}	9.19×10^{-06}
Barat Kanal					
No	Keterangan	Tegangan Geser (N/m ²)			
		Maximum		Minimum	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
5	Metode 1	8.16×10^{-06}	5.89×10^{-05}	0	0
6	Metode 2	2.87×10^{-05}	1.51×10^{-04}	0	0
Timur Kanal					
No	Keterangan	Tegangan Geser (N/m ²)			
		Maximum		Minimum	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
7	Metode 1	2.78×10^{-06}	1.23×10^{-03}	3.05×10^{-12}	3.05×10^{-09}
8	Metode 2	1.16×10^{-05}	1.94×10^{-03}	1.03×10^{-10}	3.78×10^{-08}

Dari tabel 4.4, dapat dihitung rata-rata tegangan geser maksimum dan minimum tiap metode akibat arus adalah $1.05 \times 10^{-05} \text{ N/m}^2$ dan $4.63 \times 10^{-11} \text{ N/m}^2$, sedangkan rata-rata tegangan geser maksimum dan minimum tiap metode akibat kombinasi arus dan gelombang adalah $8.43 \times 10^{-4} \text{ N/m}^2$ dan $1.42 \times 10^{-06} \text{ N/m}^2$. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa tegangan geser dasar akibat arus cenderung lebih kecil dibandingkan dengan tegangan geser dasar akibat kombinasi arus dan gelombang. Hal ini mengakibatkan gerakan sedimen atau butiran sedimen akibat kombinasi arus dan gelombang akan lebih cepat dan kemungkinan menyebabkan erosi lebih besar daripada sedimentasi.

4.3. Analisa Transportasi Sedimen Dasar dan Morfologi Dasar Laut

Transportasi sedimentasi dapat didefinisikan sebagai pengangkutan atau mengendapnya material fragmentasi oleh air. Proses sedimentasi akan menyebabkan pendangkalan di pinggir sungai, saluran, waduk, bendungan atau pintu-pintu air, dan di sepanjang sungai. Dalam teknik pantai, transportasi sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transportasi sedimen dibedakan menjadi 2 macam yaitu : transportasi menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-offshore transport*) yang mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, sedangkan transpor sepanjang pantai (*longshore transport*) mempunyai arah rata-rata sejajar pantai.

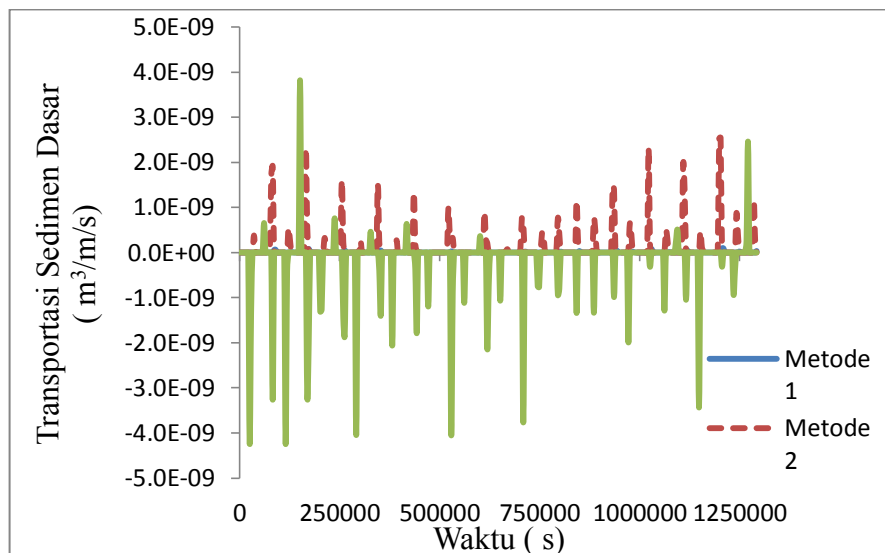
Dalam tesis ini lebih memfokuskan pada analisa transportasi tegak lurus pantai dan menggunakan formula transportasi sedimen dasar yang diusulkan oleh Suntoyo dan Tanaka (2009). Formula transportasi sedimen dasar yang digunakan berdasarkan pada formula tegangan geser dasar metode 1 dan 2. Hasil analisa transportasi sedimen dasar selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil simulasi pemodelan MIKE 21. Pada analisa ini hanya model 1 yang digunakan sebagai pembanding karena pada model 2 tidak dapat menampilkan hasil transportasi sedimen dasar. **Metode 1 dan 2** dalam plot grafik transportasi sedimen dasar merupakan penerapan hasil dari metode tegangan geser dasar, sedangkan untuk formula transportasi sedimen dasar yang digunakan hanya 1.

Perhitungan transportasi sedimen dasar (*bed load sediment transport*) dapat dinyatakan sebagai fungsi tegangan geser efektif yang terjadi secara langsung pada permukaan butiran. Laju transportasi sedimen dasar sesaat, $q(t)$ dapat dinyatakan sebagai fungsi *shields number* atau *parameter shield* sesuai dengan persamaan (2.11). *Parameter shield* memiliki batasan kritis yaitu pada saat butiran sedimen mulai kehilangan stabilitasnya karena gesekan geser dasar yang terjadi melebihi gaya gravitasi yang menahannya untuk bergerak. Batasan kritis ini disimbolkan dengan θ_{CR} yaitu *critical shields number* atau *parameter shield* kritis yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.12), seperti yang diusulkan oleh Tanaka dan To (1995). Jika parameter Shield yang terjadi pada suatu waktu melebihi parameter Shield kritis maka butiran akan bergerak. Hubungan antara laju transportasi sedimen seketika yang tidak berdimensi (Φ) dengan laju transportasi sedimen dasar dihitung dengan rumus (2.19) sehingga didapatkan nilai laju transportasi sedimen dasar untuk variasi waktu (t). Hasil perhitungan transportasi sedimen dasar dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

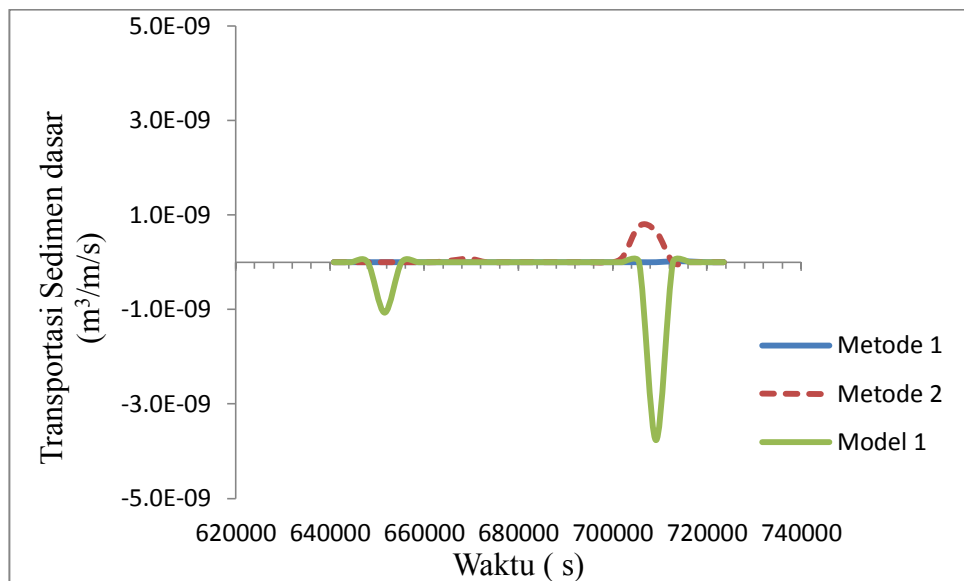
4.3.1 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar

Model 1

✓ Tengah kanal

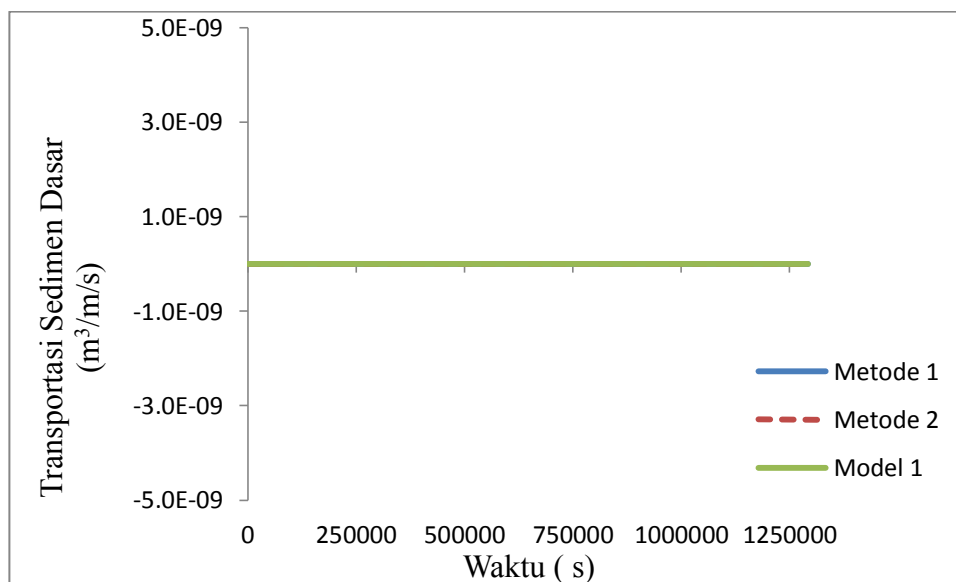


Gambar 4.54 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 15 hari di tengah kanal PLTU Grati

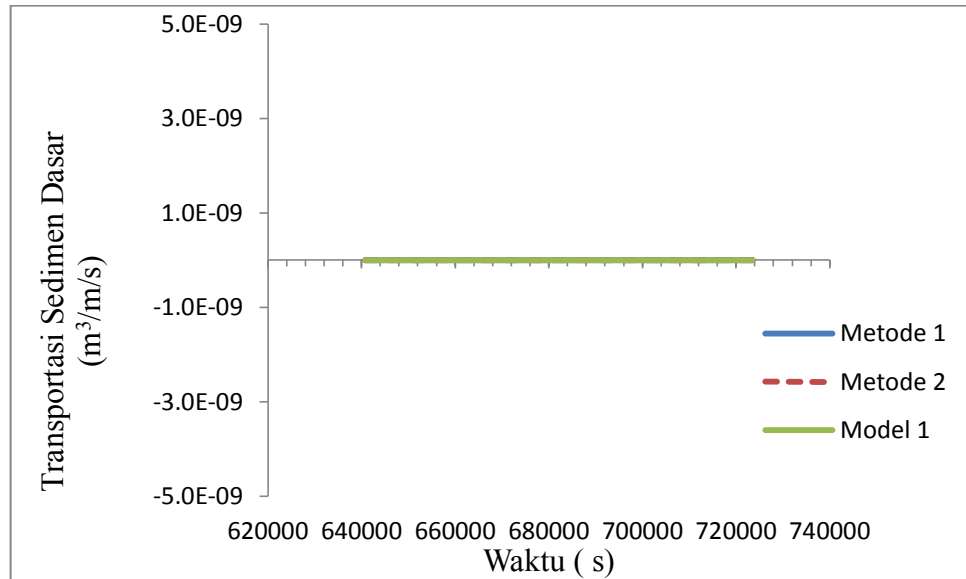


Gambar 4.55 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 1 hari di tengah kanal PLTU Grati

✓ **Utara kanal**

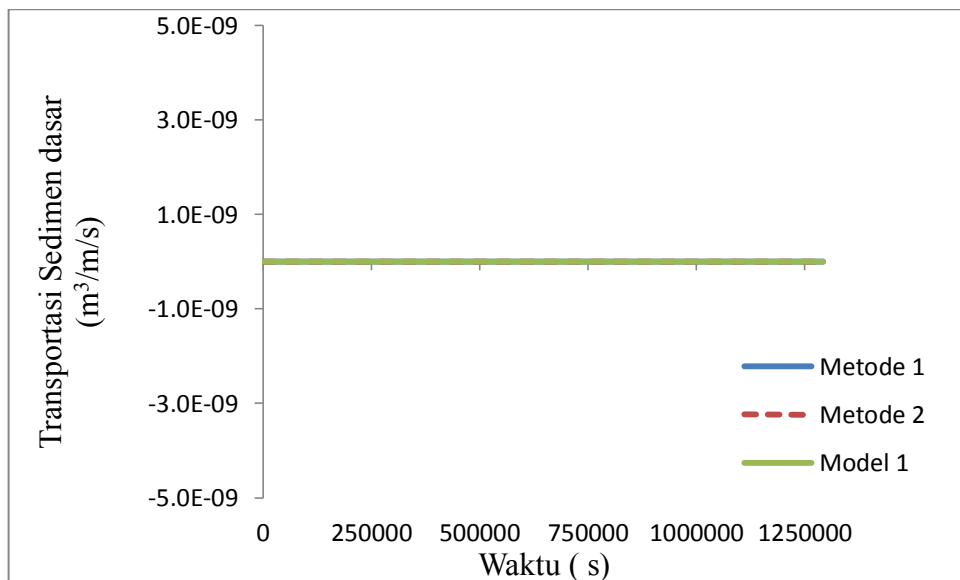


Gambar 4.56 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 15 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati

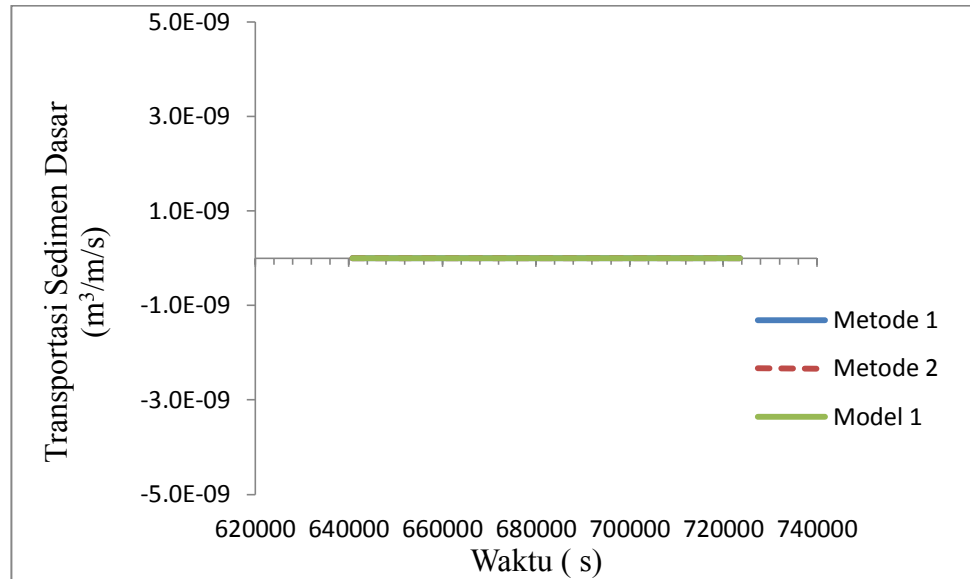


Gambar 4.57 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 1 hari di sebelah utara kanal PLTU Grati

✓ **Timur kanal**

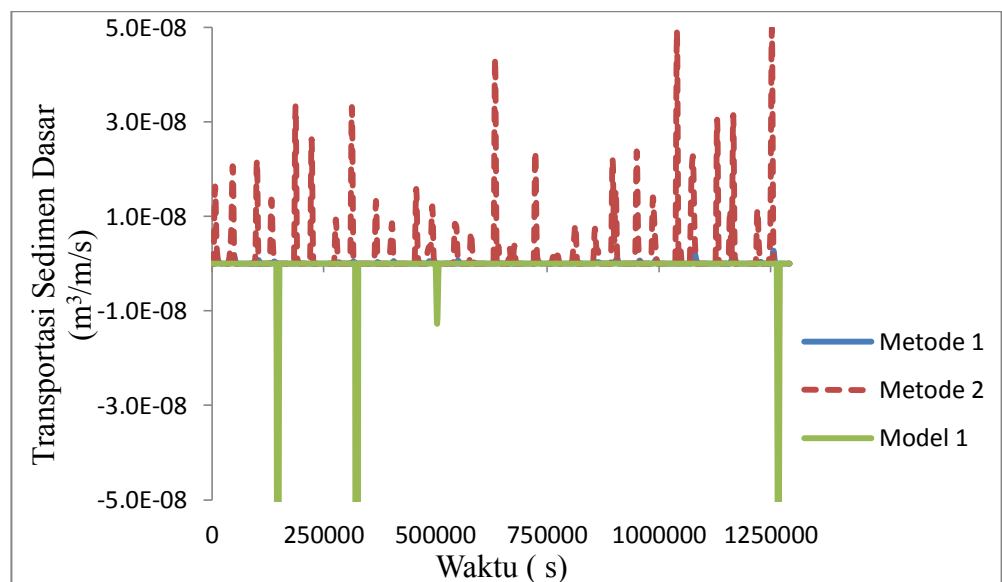


Gambar 4.58 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 15 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati

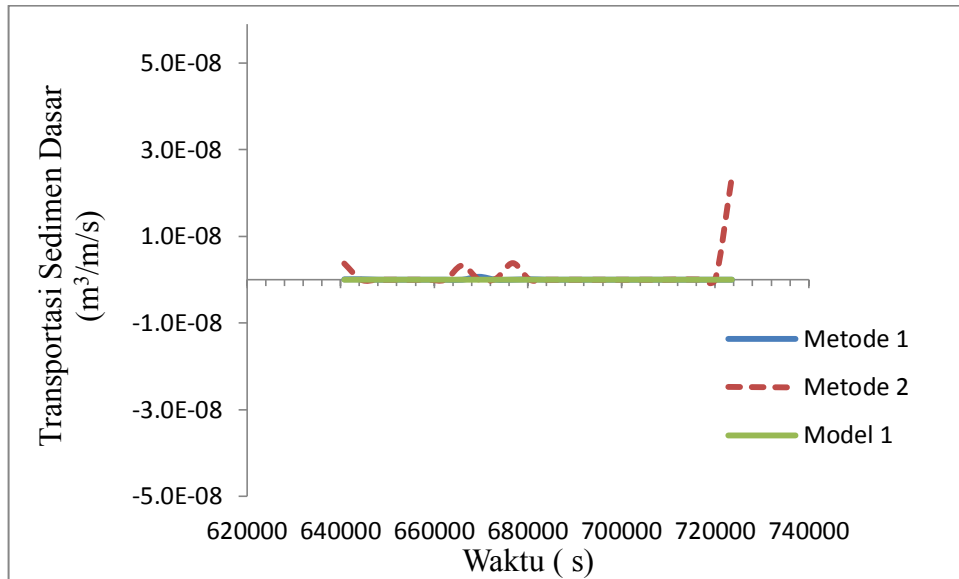


Gambar 4.59 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 1 hari di sebelah timur kanal PLTU Grati

✓ **Barat kanal**



Gambar 4.60 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 15 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati



Gambar 4.61 Perbandingan hasil transportasi sedimen dasar selama 1 hari di sebelah barat kanal PLTU Grati

Berdasarkan hasil transportasi sedimen dasar dari tiap area, terlihat bahwa daerah utara dan timur kanal memberikan hasil transportasi sedimen yang sama untuk tiap metode dan model. Transportasi sedimen di daerah ini cenderung stabil sehingga laju sedimentasi menjadi sangat kecil seperti yang terlihat pada tabel berikut :

Tabel 4.5 Hasil rata-rata transportasi sedimen dasar di area kanal PLTU Grati

No	Lokasi	Transportasi Sedimen Dasar ($\text{m}^3/\text{m/s}$)		
		Metode 1	Metode 2	Model
1	Tengah kanal	3.32×10^{-12}	1.20×10^{-10}	1.55×10^{-10}
2	Utara kanal	0.00	0.00	0.00
3	Timur kanal	0.00	0.00	0.00
4	Barat kanal	7.55×10^{-11}	2.07×10^{-09}	1.61×10^{-09}

Dari tabel 4.5 , dapat diketahui bahwa terdapat sedikit perbedaan antara hasil transportasi sedimen dasar dari tiap metode tegangan geser dasar yang digunakan dengan hasil simulasi model MIKE 21. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan formula tegangan geser yang berbeda, akan mempengaruhi

hasil dari perhitungan transportasi sedimen dasar. Dari rata-rata transportasi sedimen di tiap area, terlihat bahwa hasil transportasi sedimen dasar berdasarkan formula tegangan geser dasar pada metode 2 lebih mendekati hasil simulasi model MIKE 21 dibandingkan dengan formula tegangan geser dasar pada metode 1. Hal ini dikarenakan formula tegangan geser pada metode 2 sudah mempertimbangkan efek percepatan, sehingga hasil yang didapat lebih akurat. Hasil perbandingan transportasi sedimen dasar dengan hasil simulasi model dengan menggunakan metode RMSE (*Root Mean Square Error*) dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.6 Hasil validasi transportasi sedimen dasar dengan metode RMSE (*Root Mean Square Error*) dasar di area kanal PLTU Grati

No	Lokasi	RMSE	
		Metode 1	Metode 2
1	Tengah kanal	7.33×10^{-10}	7.77×10^{-10}
2	Utara kanal	0.00	0.00
3	Timur kanal	0.00	0.00
4	Barat kanal	2.08×10^{-08}	2.14×10^{-08}

Dari hasil perhitungan transportasi sedimen dasar, dapat disimpulkan bahwa penerapan formula tegangan geser dasar pada transportasi sedimen dasar memberikan hasil yang cukup akurat, khususnya pada daerah utara dan timur kanal yang memberikan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) = 0.00 , Kedua metode tegangan geser dasar yang dianalisa sama-sama menunjukkan tidak ada laju transportasi sedimen pada area tersebut. Kondisi ini disebabkan oleh kondisi model yang hanya menggunakan *input* pasang surut saja sehingga transportasi sedimen dasar pada titik pengamatan mendapat pengaruh aliran yang kecil.

Berdasarkan hasil analisa transportasi sedimen dasar, dapat disimpulkan bahwa penerapan formula tegangan geser dan transportasi dasar dapat diaplikasikan juga pada kasus-kasus sedimentasi dalam kondisi nyata. Perhitungan melalui formula ini diharapkan dapat mempersingkat waktu dalam memprediksi transportasi sedimen, dibandingkan menggunakan simulasi numerik

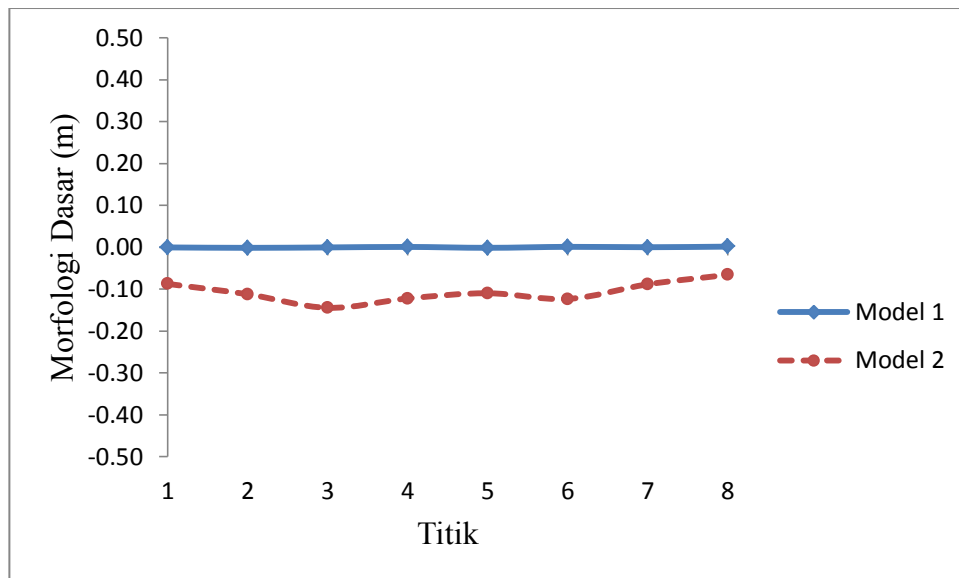
MIKE 21 yang menghabiskan waktu yang lama. Performa hasil yang dicapai terbukti memberikan hasil yang tidak beda jauh dibandingkan dengan menggunakan simulasi model numerik. Selanjutnya dari hasil transportasi sedimen dasar ini kemudian dapat digunakan untuk mengetahui perubahan morfologi dasar di area kanal PLTGU Grati.

4.3.2 Pengaruh arus dan gelombang terhadap morfologi dasar laut

Dari analisa tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar, dapat diketahui bahwa terdapat hubungan yang erat antara pasang surut, angin, arus, maupun gelombang terhadap kecepatan aliran di suatu tempat. Sebagai contoh, dalam satu periode pasang dengan durasi sekitar 6 jam atau 12 jam (tergantung tipe pasang surut), terjadi perpindahan massa air dalam jumlah tertentu. Kemudian dilanjutkan dengan periode surut dengan durasi yang hampir sama. Fenomena ini menyebabkan kecepatan aliran akan bertambah dan berlangsung terus menerus. Hal ini akan mengakibatkan morfologi dasar akan menyesuaikan diri dengan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja padanya, sehingga bentuk morfologi dasar akan berubah-ubah dan cenderung tidak rata.

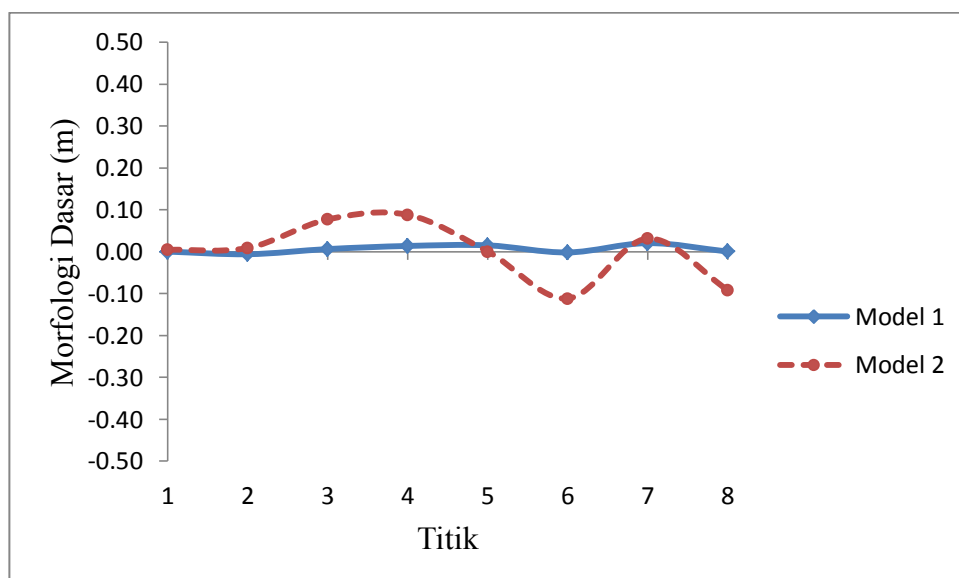
Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari gaya-gaya ini terhadap perubahan morfologi dasar, maka dalam tesis ini akan membahas efek yang ditimbulkan oleh arus yang diinisiasi oleh pasang surut dan kombinasinya dengan gelombang. Dalam Tinjauan di PLTGU Grati terdapat 4 daerah yang akan dianalisa yaitu utara, tengah, barat dan timur kanal. Dari ke 4 daerah tersebut diambil 8 titik yang berdekatan dan kemudian digunakan sebagai referensi untuk memodelkan perubahan morfologi dasar laut. Persamaan morfologi dasar yang digunakan berdasarkan pada (2.21) dengan porositas dasar sebesar 44.6 % dan laju transportasi sedimen yang digunakan adalah transportasi sedimen dasar (q_b). Hasil perhitungan dari perubahan morfologi dasar laut dapat dilihat pada gambar berikut:

✓ **Tengah kanal**



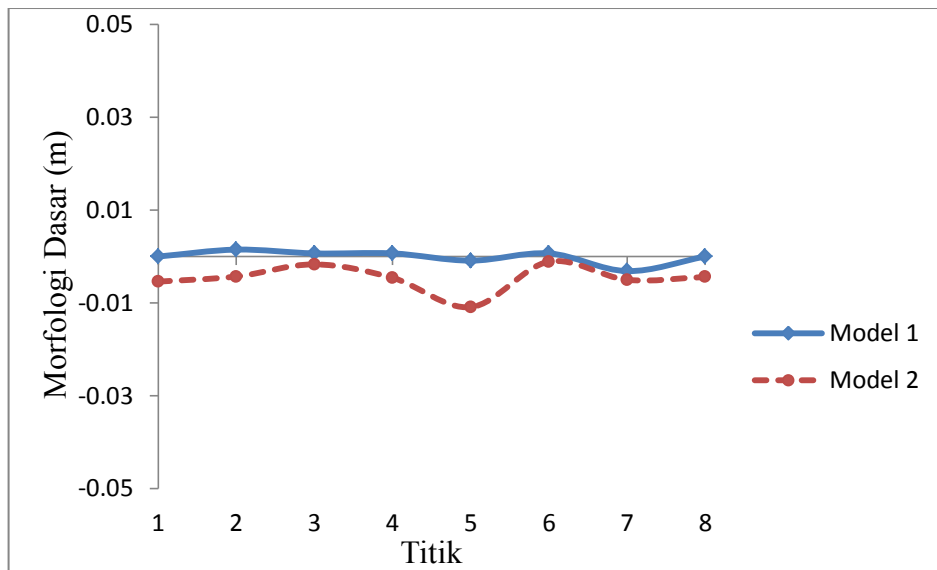
Gambar 4.62 Hasil perubahan morfologi dasar pada 8 titik di area tengah kanal PLTU Grati

✓ **Utara kanal**



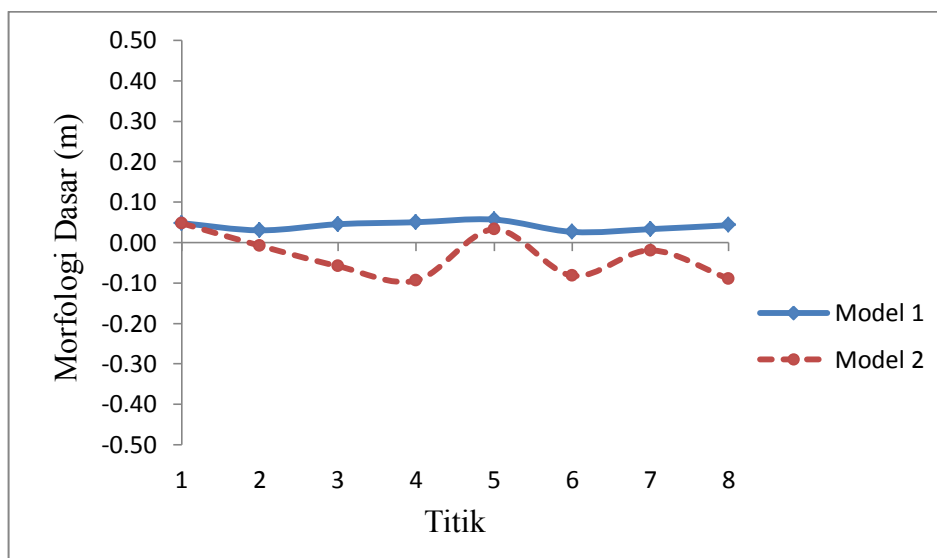
Gambar 4.63 Hasil perubahan morfologi dasar pada 8 titik di area utara kanal PLTU Grati

✓ **Timur kanal**



Gambar 4.64 Hasil perubahan morfologi dasar pada 8 titik di area timur kanal PLTU Grati

✓ **Barat kanal**



Gambar 4.65 Hasil perubahan morfologi dasar pada 8 titik di area barat kanal PLTU Grati

Berdasarkan hasil perubahan morfologi dasar, terlihat bahwa perubahan morfologi dasar yang disebabkan oleh kombinasi arus dan gelombang cenderung menyebabkan erosi pada dasar (*bed*) dibandingkan dengan sedimentasi. Hal ini berhubungan dengan u *velocity* dan tegangan geser dasar yang terjadi pada model 2 yang cenderung lebih besar sehingga butiran sedimen cepat bergerak dan mengakibatkan kemungkinan mengalami erosi lebih besar. Sedangkan untuk model 1 memiliki nilai u *velocity* dan tegangan geser dasar yang lebih kecil sehingga sedimen yang terbawa akibat adanya perubahan aliran akan tertahan pada area ini. Untuk mengetahui lebih jelas pengaruh dari arus dan gelombang terhadap perubahan morfologi dasar, maka akan dihitung volume sedimentasi yang dihasilkan akibat arus atau kombinasi arus dan gelombang.

4.3.2 Volume sedimen akibat arus dan gelombang

Untuk mengetahui pengaruh arus dan gelombang terhadap perubahan morfologi dasar di sekitar kanal, maka diperlukan perhitungan volume sedimen pada area kanal dengan menggunakan software *surfer*. Perhitungan volume sedimen di area kanal sangat penting untuk memperkirakan volume pengerukan yang akan dilakukan. Hasil volume sedimentasi yang dihitung berdasarkan hasil simulasi selama 15 hari seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.7 Perbandingan volume sedimen di area kanal PLTU Grati

No	Lokasi	Volume Sedimen (m ³)	
		Model 1	Model 2
1	Area Kanal	360.725	66.095

Berdasarkan hasil perhitungan volume sedimen tersebut dapat diketahui bahwa akumulasi volume sedimen akibat arus lebih besar daripada akibat kombinasi arus dan gelombang. Hal ini dikarenakan pada area kanal pengaruh arus lebih dominan dan kecepatan arus pada area kanal ini cenderung lebih kecil dibandingkan pada area di sebelah barat, timur dan utara kanal, sehingga sedimen terakumulasi pada area ini.

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kondisi hidrodinamika di area kanal PLTGU Grati ditinjau berdasarkan hubungan pasang surut, yaitu saat kondisi pasang tertinggi dan surut terendah. Perbedaan elevasi muka air laut pada saat pasang tertinggi dan surut terendah pada area yang dianalisa cukup signifikan sehingga dapat mempengaruhi pola arus dan sedimentasi di daerah tersebut. Arah arus pada daerah yang dianalisa dipengaruhi oleh arah angin yang dominan bertiup dari arah tenggara kanal PLTGU Grati. Hal ini menyebabkan pergerakan sedimen yang masuk ke area kanal akan didominasi dari arah timur.
2. Pengaruh tegangan geser dasar dari data *u velocity* hasil pemodelan MIKE 21 terhadap arus dan gelombang terlihat cukup signifikan. Hal ini ditunjukkan dengan rata-rata tegangan geser maksimum dan minimum tiap metode akibat arus lebih rendah daripada akibat kombinasi arus dan gelombang. Rata-rata tegangan geser maksimum dan minimum tiap metode akibat kombinasi arus adalah $1.05 \times 10^{-05} \text{ N/m}^2$ dan $4.63 \times 10^{-11} \text{ N/m}^2$, sedangkan rata-rata tegangan geser maksimum dan minimum tiap metode akibat kombinasi arus dan gelombang adalah $8.43 \times 10^{-4} \text{ N/m}^2$ dan $1.42 \times 10^{-06} \text{ N/m}^2$.
3. Penerapan formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar menunjukkan hasil yang signifikan dengan hasil dari simulasi menggunakan model MIKE 21. Hal ini ditunjukkan dengan nilai RMSE yang mendekati 0.00 pada beberapa tempat pengamatan. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa formula tegangan geser dasar dan transportasi dasar yang dianalisa dapat digunakan sebagai alternatif penyelesaian masalah sedimentasi di kondisi nyata. Selain itu juga, dalam analisa morfologi dasar di area kanal PLTGU Grati diketahui bahwa akumulasi sedimen akibat

arus lebih besar daripada akumulasi sedimen akibat kombinasi arus dan gelombang. Kondisi ini dipengaruhi oleh *u velocity* akibat arus cenderung lebih kecil dan stabil sehingga sedimen terakumulasi di daerah tersebut.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat penulis sampaikan, sehingga penelitian yang lebih kompleks dapat dilakukan. Adapun saran dari peneliti sebagai berikut :

1. Pengukuran data gelombang perlu dilakukan sehingga kalibrasi gelombang dalam model MIKE 21 dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil model yang lebih akurat
2. Simulasi yang dilakukan dilakukan lebih lama dan titik pengamatan yang akan dianalisa diperbanyak, sehingga penjelasan terhadap area yang ditinjau semakin jelas

Lampiran A :
Lisensi MIKE 21



KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KELAUTAN DAN PERIKANAN

KOMPLEK BINA SAMUDERA, JALAN PASIR PUTIH I ANCOL TIMUR JAKARTA 14430
TELEPON (021) 64711583, EXT : 4404 FAKSIMILE (021) 64711501
LAMAR www.litbang.kkp.go.id POS ELEKTRONIK set_balitbangkp@kkp.go.id

Nomor : 219 /BALITBANG KP.0/LB. 301/2016
Sifat : Segera
Hal : Ijin Penggunaan Lisensi

26 Januari 2016

Yth. Kepala Program Pascasarjana Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
di Surabaya

Sehubungan dengan adanya surat permintaan Saudara nomor
006/IT2 4.5/PP.05.02/2016 tanggal 11 Januari 2016 perihal Ijin Penggunaan Lisensi untuk:

No	Nama	NRP	Judul
1.	Wazirotus Sakinah	4114 205 005	Pemodelan sebaran kualitas air estuari Wonorejo dan dampaknya terhadap ekosistem perairan estuari
2.	Anita Diah Pahlewi	4114 205 004	Pemodelan dinamika estuari Wonorejo Surabaya
3.	Zhelvyanie	4114 205 007	Identifikasi karakteristik delta di Surabaya
4.	Made Mustika Wijaya	4114 205 013	Formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimentasi dasar (Bed load sediment transport) untuk pemodelan morfologi dasar laut (studi kasus: Area Kanal PLTGU Grati)

bersama ini disampaikan bahwa pada dasarnya kami tidak keberatan dengan permintaan tersebut. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. Penggunaan software dan lisensi MIKE 21 milik P3TKP hanya dapat dilaksanakan di kantor P3TKP dengan alamat Gedung Balitbang KP 2 Lantai 5, Jl. Pasir Putih I Ancol Timur dan dibawah pengawasan peneliti P3TKP (Saudara La Ode Nurman Mbay);
2. Karya tulis ilmiah yang dihasilkan dari penggunaan software tersebut, telah mendapat ijin dari P3TKP dan mencantumkan pemilik lisensi.

Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerjasama Saudara, disampaikan terima kasih

Sekretaris Balitbang KP,



Lampiran B :

**Perhitungan Tegangan Geser dan
Transportasi Sedimen Dasar**

Tabel 1 Hasil perhitungan tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akibat arus di daerah utara kanal PLTGU Grati

No	Waktu	U velocity	Tegangan Geser dasar N/m ²		Transportasi Sedimen Dasar m ³ /m/s	
		m/s	Metode 1	Metode 2	Metode 1	Metode 2
1	0	0.0035	-2.357E-08	-1.725E-05	0.000E+00	0.000E+00
2	3600	0.0100	-1.981E-06	-1.858E-05	0.000E+00	0.000E+00
3	7200	0.0142	-4.455E-06	-1.825E-05	0.000E+00	0.000E+00
4	10800	0.0146	-4.867E-06	-7.747E-06	0.000E+00	0.000E+00
5	14400	0.0065	-4.765E-06	-4.447E-06	0.000E+00	0.000E+00
6	18000	-0.0060	-1.718E-06	-3.727E-07	0.000E+00	0.000E+00
7	21600	-0.0210	-8.872E-07	1.358E-06	0.000E+00	1.386E-09
8	25200	-0.0258	-4.655E-08	4.355E-06	3.836E-11	8.026E-09
9	28800	-0.0173	2.160E-07	7.753E-06	3.503E-10	1.909E-08
10	32400	-0.0144	8.660E-07	4.571E-06	1.406E-09	8.630E-09
11	36000	-0.0071	1.720E-06	3.637E-07	1.048E-09	1.862E-10
12	39600	0.0013	9.171E-07	-8.725E-06	2.523E-11	0.000E+00
13	43200	0.0092	4.512E-08	-1.415E-05	0.000E+00	0.000E+00
14	46800	0.0135	-1.980E-06	-1.714E-05	0.000E+00	0.000E+00
15	50400	0.0144	-3.521E-06	-9.810E-06	0.000E+00	0.000E+00
16	54000	0.0120	-4.421E-06	-6.543E-06	0.000E+00	0.000E+00
17	57600	0.0070	-2.276E-06	-1.229E-06	0.000E+00	0.000E+00
18	61200	-0.0017	-1.405E-06	3.749E-07	0.000E+00	1.950E-10
19	64800	-0.0160	-1.919E-07	3.093E-06	1.209E-11	4.796E-09
20	68400	-0.0240	4.652E-08	7.327E-06	1.071E-10	1.754E-08
21	72000	-0.0250	5.755E-07	5.892E-06	1.070E-09	1.264E-08
22	75600	-0.0248	1.608E-06	4.377E-06	1.376E-09	8.086E-09
23	79200	-0.0149	1.240E-06	1.549E-06	8.446E-10	1.691E-09
24	82800	-0.0107	8.712E-07	-1.972E-07	1.965E-10	0.000E+00
25	86400	-0.0024	2.529E-07	-7.887E-06	0.000E+00	0.000E+00
26	90000	0.0053	-2.167E-08	-2.149E-05	0.000E+00	0.000E+00
27	93600	0.0106	-1.755E-06	-1.751E-05	0.000E+00	0.000E+00
28	97200	0.0149	-5.790E-06	-9.969E-06	0.000E+00	0.000E+00
29	100800	0.0109	-4.536E-06	-1.006E-05	0.000E+00	0.000E+00
30	104400	0.0024	-2.319E-06	-7.184E-07	0.000E+00	0.000E+00
31	108000	-0.0160	-2.345E-06	-3.398E-08	0.000E+00	0.000E+00
32	111600	-0.0213	-1.015E-07	1.759E-06	0.000E+00	2.048E-09
33	115200	-0.0239	-2.694E-09	5.184E-06	1.281E-11	1.043E-08
34	118800	-0.0171	2.939E-07	8.463E-06	5.045E-10	2.178E-08
35	122400	-0.0135	1.065E-06	2.598E-06	1.732E-09	3.690E-09
36	126000	-0.0050	1.909E-06	-7.304E-07	5.546E-10	0.000E+00
37	129600	0.0024	4.683E-07	-1.067E-05	0.000E+00	0.000E+00
38	133200	0.0086	-1.033E-07	-1.387E-05	0.000E+00	0.000E+00
39	136800	0.0144	-2.516E-06	-1.070E-05	0.000E+00	0.000E+00
40	140400	0.0126	-3.437E-06	-8.929E-06	0.000E+00	0.000E+00
.
.
.
358	1285200	-0.0187	1.605E-06	2.171E-06	1.245E-09	2.815E-09
359	1288800	-0.0149	1.124E-06	-2.114E-07	3.407E-10	0.000E+00
360	1292400	-0.0104	3.780E-07	-8.734E-06	0.000E+00	0.000E+00

Tabel 2 Hasil perhitungan tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akibat arus di daerah tengah kanal PLTGU Grati

No	Waktu	U velocity	Tegangan Geser dasar N/m ²		Transportasi Sedimen Dasar m ³ /m/s	
		m/s	Metode 1	Metode 2	Metode 1	Metode 2
1	0	-0.0047	3.718E-08	-2.447E-11	0.000E+00	0.000E+00
2	3600	-0.0035	-3.348E-13	-3.757E-07	0.000E+00	0.000E+00
3	7200	-0.0020	-3.186E-13	-1.756E-06	0.000E+00	0.000E+00
4	10800	-0.0019	-3.056E-08	-2.058E-06	0.000E+00	0.000E+00
5	14400	0.0036	-1.923E-07	-3.811E-06	0.000E+00	0.000E+00
6	18000	0.0027	-2.325E-07	-2.398E-06	0.000E+00	0.000E+00
7	21600	-0.0012	-4.839E-07	-1.495E-06	0.000E+00	0.000E+00
8	25200	-0.0079	-2.787E-07	-5.755E-07	0.000E+00	0.000E+00
9	28800	-0.0075	-1.590E-07	-6.930E-07	0.000E+00	0.000E+00
10	32400	-0.0069	-5.097E-08	7.887E-09	0.000E+00	0.000E+00
11	36000	-0.0060	-6.359E-08	5.779E-07	0.000E+00	3.789E-10
12	39600	-0.0046	3.095E-10	-2.444E-08	0.000E+00	0.000E+00
13	43200	-0.0036	5.125E-08	-9.660E-07	7.196E-12	0.000E+00
14	46800	-0.0032	-1.184E-09	-4.022E-06	0.000E+00	0.000E+00
15	50400	-0.0015	-9.444E-08	-3.504E-06	0.000E+00	0.000E+00
16	54000	0.0002	-5.159E-07	-2.258E-06	0.000E+00	0.000E+00
17	57600	0.0040	-4.378E-07	-1.997E-06	0.000E+00	0.000E+00
18	61200	0.0022	-2.596E-07	-9.950E-07	0.000E+00	0.000E+00
19	64800	0.0000	-2.242E-07	-6.226E-07	0.000E+00	0.000E+00
20	68400	0.0000	-9.780E-08	-1.090E-06	0.000E+00	0.000E+00
21	72000	-0.0020	-5.599E-08	-1.782E-08	0.000E+00	0.000E+00
22	75600	-0.0050	-1.091E-07	4.010E-08	0.000E+00	4.385E-12
23	79200	-0.0055	-8.193E-10	1.554E-06	0.000E+00	1.700E-09
24	82800	-0.0079	2.137E-09	1.673E-06	0.000E+00	1.900E-09
25	86400	-0.0060	1.663E-07	-2.938E-11	5.452E-11	0.000E+00
26	90000	-0.0045	1.817E-07	-2.554E-11	6.282E-11	0.000E+00
27	93600	-0.0026	-3.466E-13	-6.424E-07	0.000E+00	0.000E+00
28	97200	-0.0029	-2.751E-13	-9.819E-07	0.000E+00	0.000E+00
29	100800	0.0002	-5.811E-08	-3.658E-06	0.000E+00	0.000E+00
30	104400	0.0026	-9.625E-08	-3.333E-06	0.000E+00	0.000E+00
31	108000	-0.0004	-4.609E-07	-2.506E-06	0.000E+00	0.000E+00
32	111600	-0.0035	-4.124E-07	-1.486E-06	0.000E+00	0.000E+00
33	115200	-0.0082	-2.938E-07	-5.425E-07	0.000E+00	0.000E+00
34	118800	-0.0075	-1.579E-07	-4.087E-07	0.000E+00	0.000E+00
35	122400	-0.0058	-4.751E-08	7.302E-07	0.000E+00	5.412E-10
36	126000	-0.0054	-3.390E-08	4.728E-07	0.000E+00	2.787E-10
37	129600	-0.0035	6.769E-08	-2.177E-07	1.206E-11	0.000E+00
38	133200	-0.0027	4.037E-08	-2.678E-06	4.449E-12	0.000E+00
39	136800	-0.0037	-1.602E-08	-3.506E-06	0.000E+00	0.000E+00
40	140400	-0.0003	-3.179E-07	-3.085E-06	0.000E+00	0.000E+00
.
.
.
358	1285200	-0.0033	-1.658E-08	1.211E-06	0.000E+00	1.166E-09
359	1288800	-0.0028	4.525E-10	4.417E-07	0.000E+00	2.511E-10
360	1292400	-0.0051	1.236E-07	-3.691E-11	3.372E-11	0.000E+00

Tabel 3 Hasil perhitungan tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akibat arus di daerah barat kanal PLTGU Grati

No	Waktu	U velocity	Tegangan Geser dasar N/m ²		Transportasi Sedimen Dasar m ³ /m/s	
		m/s	Metode 1	Metode 2	Metode 1	Metode 2
1	0	-0.0189	1.043E-09	7.777E-08	0.000E+00	0.000E+00
2	3600	-0.0094	0.000E+00	6.989E-06	0.000E+00	1.542E-11
3	7200	-0.0116	0.000E+00	2.626E-06	0.000E+00	1.634E-08
4	10800	-0.0184	7.204E-09	4.300E-07	1.131E-10	3.748E-09
5	14400	-0.0164	1.519E-06	-2.648E-06	5.009E-10	2.409E-10
6	18000	-0.0044	4.740E-07	-3.726E-06	2.425E-11	0.000E+00
7	21600	0.0096	5.513E-08	-3.998E-06	0.000E+00	0.000E+00
8	25200	0.0218	-4.790E-07	-7.640E-06	0.000E+00	0.000E+00
9	28800	0.0029	-7.193E-07	-9.716E-06	0.000E+00	0.000E+00
10	32400	-0.0012	-7.808E-07	-3.191E-06	0.000E+00	0.000E+00
11	36000	-0.0149	-1.690E-06	1.560E-06	0.000E+00	0.000E+00
12	39600	-0.0225	-2.251E-06	3.910E-06	0.000E+00	1.709E-09
13	43200	-0.0240	-5.981E-07	8.159E-06	1.641E-10	6.825E-09
14	46800	-0.0182	2.548E-07	3.777E-07	3.338E-10	2.061E-08
15	50400	-0.0176	7.616E-07	-2.576E-06	1.401E-09	1.973E-10
16	54000	-0.0242	1.828E-06	-1.394E-05	3.791E-11	0.000E+00
17	57600	-0.0131	4.703E-08	-1.693E-05	0.000E+00	0.000E+00
18	61200	0.0004	-4.628E-07	-1.292E-05	0.000E+00	0.000E+00
19	64800	0.0000	-3.457E-06	-1.420E-05	0.000E+00	0.000E+00
20	68400	0.0000	-4.356E-06	-1.002E-05	0.000E+00	0.000E+00
21	72000	0.0010	-3.159E-06	-2.194E-05	0.000E+00	0.000E+00
22	75600	0.0140	-3.535E-06	-6.274E-06	0.000E+00	0.000E+00
23	79200	0.0078	-2.336E-06	1.731E-12	0.000E+00	0.000E+00
24	82800	0.0027	-5.931E-06	2.845E-13	0.000E+00	0.000E+00
25	86400	-0.0079	-1.336E-06	2.364E-14	0.000E+00	0.000E+00
26	90000	-0.0096	0.000E+00	3.024E-08	0.000E+00	0.000E+00
27	93600	-0.0100	0.000E+00	1.311E-06	0.000E+00	2.290E-12
28	97200	-0.0148	0.000E+00	8.496E-06	0.000E+00	1.314E-09
29	100800	-0.0170	2.319E-09	-7.864E-06	8.186E-12	2.191E-08
30	104400	-0.0088	2.072E-07	-5.078E-07	7.676E-10	0.000E+00
31	108000	0.0057	1.918E-06	-1.903E-06	0.000E+00	0.000E+00
32	111600	0.0099	-1.749E-06	-3.778E-06	0.000E+00	0.000E+00
33	115200	0.0153	-6.708E-08	-1.504E-05	0.000E+00	0.000E+00
34	118800	0.0025	-3.231E-07	-6.911E-06	0.000E+00	0.000E+00
35	122400	-0.0077	-7.300E-07	-4.401E-07	0.000E+00	0.000E+00
36	126000	-0.0211	-3.786E-06	3.944E-07	0.000E+00	0.000E+00
37	129600	-0.0237	-1.501E-06	6.179E-06	0.000E+00	2.109E-10
38	133200	-0.0202	-5.655E-08	2.590E-06	7.222E-12	1.358E-08
39	136800	-0.0213	4.965E-08	2.458E-08	2.561E-10	3.671E-09
40	140400	-0.0173	1.312E-06	-7.811E-06	4.578E-10	1.278E-12
.
.
.
358	1285200	-0.0004	-2.402E-06	-6.220E-06	0.000E+00	0.000E+00
359	1288800	0.0122	-4.553E-06	1.528E-08	0.000E+00	0.000E+00
360	1292400	0.0076	-1.324E-06	-3.307E-12	0.000E+00	0.000E+00

Tabel 4 Hasil perhitungan tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akibat arus di daerah timur kanal PLTGU Grati

No	Waktu	U velocity	Tegangan Geser dasar N/m ²		Transportasi Sedimen Dasar m ³ /m/s	
		m/s	Metode 1	Metode 2	Metode 1	Metode 2
1	0	0.0016	4.923E-08	-6.482E-06	0.000E+00	0.000E+00
2	3600	0.0052	-2.253E-07	-7.927E-06	0.000E+00	0.000E+00
3	7200	0.0114	-1.390E-06	-1.031E-05	0.000E+00	0.000E+00
4	10800	0.0094	-1.765E-06	-5.322E-06	0.000E+00	0.000E+00
5	14400	0.0049	-2.414E-06	-2.568E-06	0.000E+00	0.000E+00
6	18000	-0.0019	-1.099E-06	-7.714E-08	0.000E+00	0.000E+00
7	21600	-0.0118	-4.613E-07	4.176E-07	0.000E+00	2.303E-10
8	25200	-0.0150	-7.157E-09	3.508E-06	2.824E-12	5.796E-09
9	28800	-0.0182	5.306E-08	3.095E-06	1.334E-10	4.800E-09
10	32400	-0.0156	6.688E-07	2.822E-06	4.065E-10	4.177E-09
11	36000	-0.0090	5.764E-07	9.062E-07	3.371E-10	7.514E-10
12	39600	-0.0024	5.165E-07	-1.798E-06	7.533E-11	0.000E+00
13	43200	0.0035	1.337E-07	-5.156E-06	0.000E+00	0.000E+00
14	46800	0.0070	-3.020E-07	-1.025E-05	0.000E+00	0.000E+00
15	50400	0.0135	-1.058E-06	-1.161E-05	0.000E+00	0.000E+00
16	54000	0.0140	-2.397E-06	-5.227E-06	0.000E+00	0.000E+00
17	57600	0.0102	-2.781E-06	-1.346E-06	0.000E+00	0.000E+00
18	61200	0.0025	-1.075E-06	7.549E-08	0.000E+00	1.463E-11
19	64800	-0.0054	-2.136E-07	1.236E-06	0.000E+00	1.202E-09
20	68400	-0.0134	6.916E-09	3.443E-06	1.309E-11	5.635E-09
21	72000	-0.0151	1.930E-07	6.658E-06	2.487E-10	1.519E-08
22	75600	-0.0176	6.542E-07	5.873E-06	1.017E-09	1.258E-08
23	79200	-0.0119	1.434E-06	3.329E-06	1.295E-09	5.357E-09
24	82800	-0.0077	1.236E-06	4.582E-07	6.042E-10	2.656E-10
25	86400	-0.0010	6.287E-07	-2.722E-06	3.092E-11	0.000E+00
26	90000	0.0026	5.939E-08	-9.293E-06	0.000E+00	0.000E+00
27	93600	0.0093	-4.947E-07	-9.600E-06	0.000E+00	0.000E+00
28	97200	0.0086	-2.134E-06	-6.972E-06	0.000E+00	0.000E+00
29	100800	0.0082	-2.218E-06	-5.193E-06	0.000E+00	0.000E+00
30	104400	0.0041	-1.515E-06	-4.971E-07	0.000E+00	0.000E+00
31	108000	-0.0062	-1.067E-06	-2.157E-07	0.000E+00	0.000E+00
32	111600	-0.0117	-6.536E-08	6.191E-07	0.000E+00	4.210E-10
33	115200	-0.0176	-2.423E-08	3.635E-06	9.569E-12	6.114E-09
34	118800	-0.0189	8.476E-08	5.599E-06	1.760E-10	1.171E-08
35	122400	-0.0118	6.978E-07	2.443E-06	8.528E-10	3.362E-09
36	126000	-0.0052	1.168E-06	1.533E-07	4.018E-10	4.786E-11
37	129600	0.0009	4.351E-07	-2.633E-06	4.414E-13	0.000E+00
38	133200	0.0050	1.614E-08	-5.808E-06	0.000E+00	0.000E+00
39	136800	0.0092	-4.756E-07	-1.150E-05	0.000E+00	0.000E+00
40	140400	0.0136	-1.220E-06	-7.581E-06	0.000E+00	0.000E+00
.
.
.
358	1285200	-0.0162	1.413E-06	4.094E-06	1.577E-09	7.314E-09
359	1288800	-0.0121	1.513E-06	3.917E-07	8.598E-10	2.087E-10
360	1292400	-0.0090	8.044E-07	-1.407E-06	0.000E+00	0.000E+00

Tabel 5 Hasil perhitungan tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akibat arus dan gelombang di daerah utara kanal PLTGU Grati

No	Waktu	U velocity	Tegangan Geser dasar N/m ²		Transportasi Sedimen Dasar m ³ /m/s	
		m/s	Metode 1	Metode 2	Metode 1	Metode 2
1	0	-0.1647	-2.297E-04	-5.925E-04	-4.192E-06	4.106E-06
2	3600	-0.1427	-2.785E-04	3.355E-04	-5.338E-06	-3.244E-06
3	7200	-0.1547	-3.002E-04	-1.860E-04	-5.874E-06	-1.186E-05
4	10800	-0.1550	1.525E-04	-5.103E-04	7.666E-07	-1.341E-05
5	14400	-0.1593	-7.556E-05	-5.582E-04	-1.217E-06	-1.312E-05
6	18000	-0.1769	-2.513E-04	-5.492E-04	-4.688E-06	-1.210E-05
7	21600	-0.1974	-2.796E-04	-5.178E-04	-5.366E-06	-1.084E-05
8	25200	-0.2105	-2.742E-04	-4.775E-04	-5.234E-06	-1.017E-05
9	28800	-0.2036	-2.557E-04	-4.555E-04	-4.791E-06	-1.001E-05
10	32400	-0.1958	-2.322E-04	-4.502E-04	-4.248E-06	-1.048E-05
11	36000	-0.1778	-2.195E-04	-4.657E-04	-3.963E-06	-1.421E-05
12	39600	-0.1596	-2.164E-04	-5.821E-04	-3.896E-06	-1.593E-05
13	43200	-0.1449	-2.254E-04	-6.324E-04	-4.095E-06	-1.760E-05
14	46800	-0.1391	-2.939E-04	-6.796E-04	-5.717E-06	-1.611E-05
15	50400	-0.1350	-3.244E-04	-6.375E-04	-6.494E-06	-1.368E-05
16	54000	-0.1400	-3.534E-04	-5.663E-04	-7.260E-06	-1.053E-05
17	57600	-0.1492	-3.275E-04	-4.673E-04	-6.575E-06	-8.364E-06
18	61200	-0.1720	-2.845E-04	-3.934E-04	-5.484E-06	-7.458E-06
19	64800	-0.1894	-2.263E-04	-3.607E-04	-4.116E-06	-6.621E-06
20	68400	-0.1966	-1.844E-04	-3.293E-04	-3.210E-06	-6.998E-06
21	72000	-0.1401	-1.663E-04	-3.436E-04	-2.842E-06	-7.442E-06
22	75600	-0.0986	-1.491E-04	-3.601E-04	-2.506E-06	-8.284E-06
23	79200	-0.1799	-1.569E-04	-3.906E-04	-2.656E-06	-1.065E-05
24	82800	-0.1898	-1.660E-04	-4.712E-04	-2.837E-06	-1.267E-05
25	86400	-0.1879	-1.828E-04	-5.353E-04	-3.177E-06	-1.448E-05
26	90000	-0.1815	-2.285E-04	-5.901E-04	-4.165E-06	2.182E-06
27	93600	-0.1729	-2.660E-04	2.411E-04	-5.036E-06	-1.043E-05
28	97200	-0.1681	-2.987E-04	-4.641E-04	-5.838E-06	-1.205E-05
29	100800	-0.1670	1.029E-04	-5.162E-04	1.837E-07	-1.156E-05
30	104400	-0.1704	-2.244E-04	-5.005E-04	-4.074E-06	-1.212E-05
31	108000	-0.1946	-2.548E-04	-5.184E-04	-4.769E-06	-1.136E-05
32	111600	-0.2044	-2.456E-04	-4.941E-04	-4.555E-06	-1.010E-05
33	115200	-0.2133	-2.560E-04	-4.531E-04	-4.800E-06	-8.935E-06
34	118800	-0.2054	-2.418E-04	-4.134E-04	-4.468E-06	-9.562E-06
35	122400	-0.1914	-2.181E-04	-4.350E-04	-3.934E-06	-1.118E-05
36	126000	-0.1707	-1.956E-04	-4.886E-04	-3.445E-06	-1.437E-05
37	129600	-0.1541	-2.077E-04	-5.870E-04	-3.706E-06	-1.619E-05
38	133200	-0.1463	-2.386E-04	-6.399E-04	-4.394E-06	-1.620E-05
39	136800	-0.1386	-2.969E-04	-6.403E-04	-5.791E-06	-1.494E-05
40	140400	-0.1421	-3.290E-04	-6.037E-04	-6.612E-06	-1.198E-05
.
.
.
358	1285200	-0.1479	-1.415E-04	-3.728E-04	-2.361E-06	-7.789E-06
359	1288800	-0.1424	-1.522E-04	-4.733E-04	-2.565E-06	-1.071E-05
360	1292400	-0.1387	-1.729E-04	-5.566E-04	-2.976E-06	-1.336E-05

Tabel 6 Hasil perhitungan tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akibat arus dan gelombang di daerah tengah kanal PLTGU Grati

No	Waktu	U velocity	Tegangan Geser dasar N/m ²		Transportasi Sedimen Dasar m ³ /m/s	
		m/s	Metode 1	Metode 2	Metode 1	Metode 2
1	0	-0.0048	1.444E-05	1.776E-08	-2.291E-07	-4.203E-07
2	3600	-0.0037	1.303E-09	-2.102E-05	-2.638E-09	8.650E-07
3	7200	-0.0025	1.238E-09	1.597E-04	-2.571E-09	-2.668E-06
4	10800	-0.0021	-5.635E-06	-1.575E-04	-1.853E-07	-7.126E-06
5	14400	0.0031	6.303E-05	-3.484E-04	-1.367E-07	-4.157E-06
6	18000	0.0020	-6.197E-05	-2.281E-04	-1.008E-06	-2.662E-06
7	21600	-0.0015	-1.595E-04	-1.572E-04	-2.708E-06	-1.676E-06
8	25200	-0.0079	-9.637E-05	-1.035E-04	-1.556E-06	-1.917E-06
9	28800	-0.0078	-6.190E-05	-1.173E-04	-1.006E-06	-4.836E-07
10	32400	-0.0070	-3.759E-05	-2.554E-05	-6.522E-07	-2.543E-07
11	36000	-0.0056	-4.365E-05	2.463E-05	-7.383E-07	-5.131E-08
12	39600	-0.0043	-7.105E-06	-4.873E-07	-2.115E-07	-1.312E-06
13	43200	-0.0034	6.812E-06	-8.153E-05	-1.750E-07	-8.694E-06
14	46800	-0.0028	-6.365E-08	-4.050E-04	-1.845E-08	-5.003E-06
15	50400	-0.0009	-2.831E-05	-2.646E-04	-5.222E-07	-2.756E-06
16	54000	0.0002	-1.908E-04	-1.619E-04	-3.345E-06	-2.291E-06
17	57600	0.0004	-1.150E-04	-1.378E-04	-1.876E-06	-1.505E-06
18	61200	0.0011	-6.408E-05	-9.331E-05	-1.039E-06	-1.136E-06
19	64800	-0.0004	-5.288E-05	-7.035E-05	-8.720E-07	-1.183E-06
20	68400	-0.0004	-3.323E-05	-7.339E-05	-5.910E-07	-4.684E-07
21	72000	-0.0027	-2.375E-05	-2.444E-05	-4.587E-07	-6.030E-07
22	75600	0.0007	-2.498E-05	-3.409E-05	-4.759E-07	-1.955E-07
23	79200	-0.0049	-6.757E-06	5.182E-05	-2.055E-07	-4.127E-08
24	82800	-0.0080	-1.003E-05	7.716E-05	-2.595E-07	-8.728E-09
25	86400	-0.0062	1.649E-05	1.427E-08	-2.374E-07	-1.346E-08
26	90000	-0.0048	2.652E-05	3.397E-08	-2.553E-07	-1.149E-06
27	93600	-0.0031	9.922E-10	-7.120E-05	-2.302E-09	-6.739E-07
28	97200	-0.0031	2.735E-09	-3.913E-05	-3.821E-09	-7.191E-06
29	100800	0.0000	-2.410E-05	-3.508E-04	-4.635E-07	-6.045E-06
30	104400	0.0020	-1.180E-05	-3.069E-04	-2.870E-07	-4.051E-06
31	108000	-0.0005	-1.608E-04	-2.234E-04	-2.734E-06	-2.636E-06
32	111600	-0.0037	-1.372E-04	-1.558E-04	-2.279E-06	-1.661E-06
33	115200	-0.0088	-9.402E-05	-1.026E-04	-1.516E-06	-1.627E-06
34	118800	-0.0076	-6.125E-05	-1.006E-04	-9.966E-07	-1.687E-07
35	122400	-0.0058	-3.721E-05	6.242E-06	-6.469E-07	-2.180E-07
36	126000	-0.0050	-3.635E-05	1.229E-05	-6.347E-07	-3.120E-07
37	129600	-0.0036	1.329E-06	-1.347E-05	-8.288E-08	-5.736E-06
38	133200	-0.0029	2.978E-06	-2.946E-04	-1.215E-07	-5.904E-06
39	136800	-0.0029	-3.319E-06	-3.013E-04	-1.385E-07	-4.160E-06
40	140400	-0.0005	-1.307E-04	-2.283E-04	-2.159E-06	-2.627E-06
.
.
.
358	1285200	-0.0412	-7.173E-06	6.802E-05	-2.127E-07	-1.056E-07
359	1288800	-0.0331	-1.091E-05	4.639E-05	-2.732E-07	-2.177E-07
360	1292400	-0.1448	2.282E-05	1.521E-08	-2.525E-07	-9.011E-09

Tabel 7 Hasil perhitungan tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akibat arus dan gelombang di daerah barat kanal PLTGU Grati

No	Waktu	U velocity	Tegangan Geser dasar N/m ²		Transportasi Sedimen Dasar m ³ /m/s	
		m/s	Metode 1	Metode 2	Metode 1	Metode 2
1	0	-0.0161	-3.770E-08	0.000E+00	-1.419E-08	0.000E+00
2	3600	-0.0370	0.000E+00	-3.831E-08	0.000E+00	-1.431E-08
3	7200	-0.0477	0.000E+00	-7.325E-06	0.000E+00	-2.153E-07
4	10800	-0.0562	-3.079E-09	-9.033E-06	-4.055E-09	-2.437E-07
5	14400	-0.0418	-1.608E-06	-3.473E-05	-9.446E-08	-6.119E-07
6	18000	-0.0165	-2.061E-06	-6.129E-05	-1.075E-07	-9.972E-07
7	21600	-0.0146	-1.024E-05	-7.410E-05	-2.629E-07	-1.194E-06
8	25200	-0.0050	-2.016E-05	-8.094E-05	-4.082E-07	-1.303E-06
9	28800	-0.0301	-2.526E-05	-8.966E-05	-4.798E-07	-1.444E-06
10	32400	-0.0345	-2.807E-05	-7.923E-05	-5.189E-07	-1.275E-06
11	36000	-0.0405	-3.170E-05	-2.747E-05	-5.696E-07	-5.106E-07
12	39600	-0.0465	-2.736E-05	-1.942E-05	-5.090E-07	-3.978E-07
13	43200	-0.0538	-7.755E-06	-2.360E-05	-2.226E-07	-4.565E-07
14	46800	-0.0583	-5.132E-06	-2.869E-05	-1.758E-07	-5.275E-07
15	50400	-0.0636	-6.470E-06	-6.619E-05	-2.004E-07	-1.072E-06
16	54000	-0.0651	-8.165E-06	-8.494E-05	-2.295E-07	-1.367E-06
17	57600	-0.0282	-2.209E-05	-9.826E-05	-4.354E-07	-1.587E-06
18	61200	-0.0022	-2.971E-05	-9.811E-05	-5.418E-07	-1.585E-06
19	64800	0.0000	-3.534E-05	-9.126E-05	-6.206E-07	-1.471E-06
20	68400	0.0000	-3.529E-05	-9.511E-05	-6.198E-07	-1.535E-06
21	72000	-0.0006	-3.237E-05	-9.050E-05	-5.790E-07	-1.458E-06
22	75600	-0.0144	-3.401E-05	-8.936E-05	-6.019E-07	-1.439E-06
23	79200	-0.0163	-3.206E-05	-1.411E-05	-5.746E-07	-3.215E-07
24	82800	-0.0363	-3.158E-05	9.873E-12	-5.678E-07	-2.296E-10
25	86400	-0.0509	-3.511E-06	2.267E-12	-1.427E-07	-1.100E-10
26	90000	-0.0570	0.000E+00	7.235E-13	0.000E+00	-6.215E-11
27	93600	-0.0601	0.000E+00	-1.623E-07	0.000E+00	-2.950E-08
28	97200	-0.0639	0.000E+00	-1.349E-06	0.000E+00	-8.626E-08
29	100800	-0.0594	-1.727E-08	-3.915E-06	-9.604E-09	-1.514E-07
30	104400	-0.0316	-2.144E-07	-6.345E-05	-3.392E-08	-1.030E-06
31	108000	-0.0257	-7.610E-07	-6.493E-05	-6.433E-08	-1.052E-06
32	111600	-0.0289	-2.100E-05	-7.819E-05	-4.201E-07	-1.259E-06
33	115200	-0.0324	-2.159E-05	-8.510E-05	-4.284E-07	-1.370E-06
34	118800	-0.0533	-2.693E-05	-9.805E-05	-5.031E-07	-1.584E-06
35	122400	-0.0619	-2.980E-05	-6.591E-05	-5.430E-07	-1.067E-06
36	126000	-0.0675	-3.527E-05	-2.781E-05	-6.195E-07	-5.153E-07
37	129600	-0.0674	-2.198E-05	-3.193E-05	-4.338E-07	-5.728E-07
38	133200	-0.0646	-7.867E-06	-3.103E-05	-2.245E-07	-5.602E-07
39	136800	-0.0662	-9.273E-06	-5.478E-05	-2.475E-07	-9.001E-07
40	140400	-0.0643	-8.965E-06	-8.050E-05	-2.426E-07	-1.296E-06
.
.
.
358	1285200	-0.0044	-3.139E-05	-2.275E-05	-5.653E-07	-4.447E-07
359	1288800	-0.0087	-3.291E-05	-3.110E-07	-5.864E-07	-4.090E-08
360	1292400	-0.0387	-6.196E-06	-5.057E-11	-1.956E-07	-5.196E-10

Tabel 8 Hasil perhitungan tegangan geser dasar dan transportasi sedimen dasar akibat arus dan gelombang di daerah timur kanal PLTGU Grati

No	Waktu	U velocity	Tegangan Geser dasar N/m ²		Transportasi Sedimen Dasar m ³ /m/s	
		m/s	Metode 1	Metode 2	Metode 1	Metode 2
1	0	-0.0109	2.807E-05	3.644E-05	-2.553E-07	-4.739E-06
2	3600	-0.1285	1.685E-05	-2.534E-04	-2.386E-07	-2.777E-07
3	7200	-0.1460	1.085E-05	-1.119E-05	-2.090E-07	-2.534E-07
4	10800	-0.1414	-1.092E-04	2.365E-05	-1.775E-06	-1.985E-07
5	14400	-0.1402	-2.663E-06	5.112E-05	-1.231E-07	-8.659E-08
6	18000	-0.1428	6.487E-06	7.085E-05	-1.715E-07	-3.277E-08
7	21600	-0.1521	1.624E-05	7.828E-05	-2.365E-07	4.300E-08
8	25200	-0.1598	2.395E-05	8.764E-05	-2.537E-07	6.304E-08
9	28800	-0.1605	2.697E-05	8.996E-05	-2.554E-07	6.088E-08
10	32400	-0.1597	3.085E-05	8.971E-05	-2.540E-07	5.021E-09
11	36000	-0.1500	3.183E-05	8.308E-05	-2.531E-07	-1.519E-07
12	39600	-0.1420	3.172E-05	6.040E-05	-2.532E-07	-1.958E-07
13	43200	-0.1367	2.895E-05	5.174E-05	-2.551E-07	-1.886E-07
14	46800	-0.1359	1.981E-05	5.332E-05	-2.471E-07	-1.415E-07
15	50400	-0.1322	1.648E-05	6.222E-05	-2.373E-07	-7.511E-08
16	54000	-0.1324	1.707E-05	7.251E-05	-2.394E-07	-4.866E-08
17	57600	-0.1329	2.052E-05	7.617E-05	-2.486E-07	-2.249E-08
18	61200	-0.1349	2.462E-05	7.962E-05	-2.543E-07	9.087E-09
19	64800	-0.1373	2.611E-05	8.358E-05	-2.551E-07	7.679E-08
20	68400	-0.1409	2.752E-05	9.152E-05	-2.554E-07	1.482E-07
21	72000	-0.1409	2.916E-05	9.925E-05	-2.550E-07	1.811E-07
22	75600	-0.1324	3.246E-05	1.026E-04	-2.524E-07	1.240E-07
23	79200	-0.1324	3.581E-05	9.670E-05	-2.474E-07	-6.894E-08
24	82800	-0.1475	3.723E-05	7.338E-05	-2.446E-07	-2.268E-07
25	86400	-0.1485	3.468E-05	4.377E-05	-2.493E-07	-2.552E-07
26	90000	-0.1481	2.497E-05	2.859E-05	-2.546E-07	-7.866E-05
27	93600	-0.1430	1.350E-05	-1.935E-03	-2.245E-07	-1.779E-07
28	97200	-0.1432	8.130E-06	7.094E-06	-1.878E-07	-2.544E-07
29	100800	-0.1413	-1.228E-03	3.032E-05	-4.071E-05	-1.585E-07
30	104400	-0.1414	1.547E-06	5.922E-05	-8.918E-08	-1.058E-07
31	108000	-0.1504	8.719E-06	6.797E-05	-1.929E-07	-5.752E-08
32	111600	-0.1560	1.935E-05	7.496E-05	-2.460E-07	1.201E-08
33	115200	-0.1624	2.280E-05	8.394E-05	-2.524E-07	7.009E-08
34	118800	-0.1633	2.562E-05	9.076E-05	-2.549E-07	2.277E-08
35	122400	-0.1545	2.931E-05	8.524E-05	-2.550E-07	-6.655E-08
36	126000	-0.1453	3.216E-05	7.371E-05	-2.528E-07	-1.852E-07
37	129600	-0.1382	2.985E-05	5.403E-05	-2.547E-07	-1.995E-07
38	133200	-0.1360	2.511E-05	5.090E-05	-2.547E-07	-1.733E-07
39	136800	-0.1328	1.734E-05	5.643E-05	-2.403E-07	-1.264E-07
40	140400	-0.1317	1.615E-05	6.474E-05	-2.361E-07	-7.737E-08
.
.
.
358	1285200	0.0231	3.651E-05	1.004E-04	-2.460E-07	1.596E-07
359	1288800	0.0264	3.878E-05	8.095E-05	-2.410E-07	-1.208E-08
360	1292400	0.0322	3.628E-05	5.270E-05	-2.465E-07	-1.914E-07

DAFTAR PUSTAKA

- Bayram, A, M.Larson, H.C. Miller and N.C. Kraus. 2001.”Cross-shore Distribution of Longshore Sediment Transport: Comparison Between Predictive Formulas and field measurements”.**Coastal Engineering**. 44(2) 79-99.
- DHI Software, 2007, “MIKE21 Flow Model FM, Hydrodynamic Module, User Guide”, DHI Water and Environment.
- Fredsoe, J., Deigaard, R. 1992. “Mechanics of Coastal Sediment Transport”, **World Scientific**, 369 pp.
- Poerbandono, E.Djunarsjah. 2005, Survei Hidrografi, Teknik Geodesi ITB: Bandung
- Nielsen, P. 2002. Shear stress and sediment transport calculations for swash zone modeling, **Coastal Engineering**, 45: 53–60.
- Samad, M.A., 2000. “Investigation of Bottom Boundary Layer Under Irregular Waves” . **PhD Thesis**, Tohoku University, Japan
- Suntoyo, H. Tanaka, dan A. Sana, 2008.”Characteristics of turbulent boundary layers over a rough bed under saw-tooth waves and its application to sediment transport”. **Coastal Engineering**, 55(12)1102-1112.
- Suntoyo, H.Tanaka.2009.” Effect of Bed Roughness on Turbulent Boundary Layer and Net Sediment Transport under Asymmetric Waves”. **Jurnal of Coastal Engineering**, 56,960-969
- Sravanthi, N,R.Ramakrishnan, A.S.Rajawat, A.C. Narayana.2015.” Application of Numerical Model in Suspended Sediment Transport Studies along The Central Kerala ,West–coast of India”. proceeding at International Conference On Water Resource, **Coastal And Ocean Engineering (ICWRCOE)**.4 109-116

Tanaka, H., Samad, M.A., 2006. "Prediction of instantaneous bottom shear stress for turbulent plane bed condition under irregular wave". **Journal of Hydraulic Research** 44 (1), 94–106.

Tanaka,H.1998."Bed-load Transport due to Non-Linear Wave Motion"
,**Proceeding sof2T' International Conference on Coastal Engineering**,ASCE,1803-1817.

Watanabe, A., Sato, S., 2004. "A sheet-flow transport rate formula for asymmetric,forward-leaning waves and currents". **Proc. of 29th ICCE**, ASCE, pp. 1703–1714.

Zhang,H.,H.A.Scaffer and K.P.Jakobsen.2007." Deterministic Combination Of Numerical and Physical Coastal Wave Model ". **Coastal Engineering**. 54(2) 171-186

<https://www.google.co.id/maps/place/Grati,+Pasuruan,+Jawa+Timur/>)

www.google.co.id/imgres?imgurl=https://rachmanabdul.files.wordpress.com/2011/12

BIODATA PENULIS



Made Mustika Wijaya, dilahirkan di Pekutatan pada tanggal 18 Maret 1992. Menempuh pendidikan formal TK hingga SMA di Klungkung, Bali. Lulus SMA N 1 Semarapura tahun 2010 dan lulus studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2014. Penulis kemudian melanjutkan studi magisternya di Program Studi Teknik dan Manajemen Pantai, Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama perkuliahan S1, penulis mengikuti beberapa organisasi kemahasiswaan dan terlibat menjadi panitia di beberapa acara yang ada di kampus. Pada tahun 2010-2011 dan 2011-2012 penulis aktif menjadi staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan. Penulis juga aktif mengikuti seminar pada jenjang masa studi S2 dalam rangka pengembangan diri. Pada tahun 2015 penulis mengikuti seminar International ICOME dan ISOCEEN. Pada tahun 2016 penulis menyelesaikan tesisnya dengan mengangkat permasalahan transportasi sedimen dan morfologi dasar laut